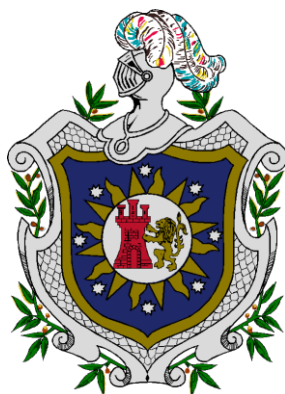


Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

UNAN - MANAGUA

Recinto Universitario Rubén Darío

Facultad de Ciencias e Ingenierías



Monografía para optar al título de Ingeniero Civil

TEMA:

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Autores:

Br. Alfonso Bismark Rivera Mendoza.

Br. Vicente Gregorio García Lira.

Tutor: Ing. Adolfo Ernesto Cordero Andrade.

Managua, noviembre de 2016.

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a Dios por haberme dado la oportunidad de terminar mi carrera universitaria. Por darme paciencia y fortaleza durante los cinco años de estudio y perseverancia para seguir día a día.

A mi madre Francisca Mendoza y a mi padre José Alfonso Rivera, porque confiaron en mí, me apoyaron y aconsejaron. No tengo palabras para expresarles cuán agradecido me siento porque siempre han estado a mi lado dándome ánimos para seguir adelante.

Asimismo, agradezco a mi hermana Evelin Rivera por su apoyo incondicional, por sus consejos y por creer en mí. Ella siempre ha sido el motor que me impulsa a seguir adelante; este logro es tanto mío como de ella. También agradezco a mi cuñado Willintong Ávila por su ayuda y sugerencias.

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), en particular al cuerpo docente del Departamento de Construcción. Gracias a todos ellos les doy por compartir sus conocimientos y ser formadores de nuevos profesionales. Especial agradecimiento hacia el profesor Ing. Adolfo Cordero por ser el tutor en la realización de esta tesis monográfica.

Por otro lado, agradezco a todos mis compañeros de clases (generación 2011-2015), ya que todos ellos contribuyeron en mi formación. En especialmente le doy las gracias a: Flor Ortega, Migdalia Vallecillo, Kerlyn Orozco, Greybin Borge, Kevin Castro, Denis Sandoval, Wilmor Arce y a mi compañero de monografía Gregorio García.

En general doy gracias a todas las personas que siempre estuvieron dándome ánimos o apoyándome de una u otra forma, tanto familiares como amigos. Gracias por su apoyo y sus palabras de motivación; fueron de gran ayuda en mis estudios. Les estaré eternamente agradecido, me gustaría mencionar sus nombres pero son muchas personas y sería una lista de no acabar; pero les aseguro que yo siempre los llevare en mi memoria.

Alfonso Bismark Rivera Mendoza.

Agradecimientos

Agradezco principalmente a Dios por haberme ayudado todo este tiempo de estadía en la universidad y en primer lugar por la finalización de este trabajo monográfico con mucha satisfacción. Muchas gracias!

A mis padres Astor García Díaz y Victoria Lira Ugarte, por no haber encontrado un “pero” para dejar de apoyarme durante todo el tiempo que conllevó la realización como profesional.

También agradezco a todos los docentes que impartieron las distintas materias que contempla el Pensum de la carrera Ingeniería civil de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), por haber logrado que asimilara, en todo lo posible, los conocimientos impartidos en las aulas de clases.

Al laboratorio de suelos del CIGEO de la UNAN-Managua, por habernos facilitado sus instalaciones para la realización de los distintos ensayos de laboratorios que fueron necesarios para este proyecto final.

Vicente Gregorio García Lira.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Dedicatoria

A mi mamá, papá y hermana y especialmente con mucho cariño a mi sobrina
Fernanda Ávila.

Alfonso Bismark Rivera Mendoza.

Dedicatoria

En primer lugar, la culminación de este trabajo está dirigido especialmente a Dios por haberme dado las fuerzas suficientes durante todo ese tiempo que duró nuestra carrera y la finalización de esta meta. ¡Te agradezco mi Dios, por haber estado conmigo siempre y en todo lugar!

En segundo lugar, este trabajo está dedicado a mis padres Astor García Díaz y Victoria Lira Ugarte, por sus incansables e innumerables maneras de apoyarme, aun cuando la situación tanto económica, como familiar se tornaban cada día más difícil. ¡Muchas gracias por cuan gran labor para alcanzar esta meta!

En tercer lugar, la realización de este trabajo está dirigido de una forma muy especial a mi esposa Eneyda D. Murillo Martínez y a nuestra pequeña hija Lauren Nathaly García Murillo, por ser los pilares fundamentales que me inspiraron para terminar este trabajo.

Por último, dedico también este trabajo a mis hermanos y amigos que de una u otra forma me apoyaron para seguir hacia adelante, y así poder hacer realidad mis sueños.

Vicente Gregorio García Lira.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Antecedentes	2
Justificación.....	3
Objetivos	4
Capítulo 1 : Diagnóstico del Sitio del Proyecto	5
1.1. Descripción del sitio	5
1.1.1. Localización del área de estudio.....	5
1.1.1.1. Hidrografía.....	6
1.1.1.2. Accidentes geográficos.	6
1.1.1.3. Datos relevantes de la población.....	7
1.1.1.4. Servicios básicos del sitio.....	7
1.2. Información técnica.....	7
1.2.1. Suelo predominante.....	7
1.2.2. Topografía del terreno.	7
1.2.3. Sistema de drenaje pluvial.....	8
1.2.4. Disposición de desechos sólidos	8
1.3. Estado actual del camino existente	8
1.3.1. Identificación del problema.	9
Capítulo 2 : Estudio Topográfico	11
2.1. Equipo topográfico.....	11
2.2. Procedimiento y Desarrollo de un estudio topográfico	11
2.3. Planimetría	12
2.4. Altimetría.....	13
2.5. Levantamiento topográfico del proyecto	14
2.6. Análisis e interpretación de resultados.....	15
Capítulo 3 : Estudio de Tránsito.....	24
3.1. Tipos de tránsito.....	24
3.2. Características del tránsito	24
3.3. Volúmenes de tránsito	26
3.4. Estimación de los volúmenes futuros del tránsito.....	29
3.5. Procesamiento de datos del aforo	30

Capítulo 4 : Estudio de Suelo	44
4.1. Suelo.....	45
4.2. Análisis Granulométrico (Método Mecánico).....	45
4.3. Límites de consistencia (Límites de Atterberg)	46
4.4. Clasificación de los suelos.....	47
4.5. Compactación de suelos	47
4.5.1. Factores que afectan la compactación de los suelos.....	48
4.6. Valor Relativo Soporte (CBR)	48
4.6.1. Control de la compactación (H-4140 GEOGAUGE).....	50
4.6.2. Control de compactación: Impacto de CLEGG (modelo H-4190).	51
4.7. Mezclas de suelo-cemento	52
4.7.1. Suelo-cemento en la actualidad.....	52
4.8. Resultados de estudio geotécnico	54
4.8.1. Sondeos manuales.	54
4.8.2. Clasificación de las muestras de suelo del sitio del proyecto.	54
4.8.3. Análisis de resultados.	59
4.8.4. Diseño de mezcla de Suelo-Cemento.....	69
Capítulo 5 : Estudio Hidrológico	74
5.1. Método Racional.....	75
5.1.1. Coeficiente de escorrentía.	75
5.1.2. Intensidad de lluvia.	77
5.2. Memoria de Cálculo.....	78
Capítulo 6 : Diseño Estructural del Pavimento	88
1.4. Método AASHTO 93.....	88
6.1.1. Diseño de pavimento semi-rígido.....	88
6.1.2. Diseño de Estructura de Pavimento Rígido.	88
1.5. Memoria de cálculo	97
6.1.3. Diseño para el Tramo 1 (T1)-Pavimento Rígido.....	100
6.1.4. Diseño para el Tramo 2 (T2)-Pavimento Semi-Rígido.	103
Capítulo 7 : Diseño Hidráulico.....	107
7.1. Badén estándar.....	107
7.1.1. Criterios de diseño.	107

7.1.2. Dimensionamiento del badén.....	107
7.2. Cunetas	109
7.3. Canal de drenaje.....	109
7.3.1. Criterios de diseño para canales abiertos.....	110
7.4. Rejillas pluviales.....	112
7.5. Tragante	113
7.5.1. Tragante de cuneta.....	113
7.5.2. Diseño hidráulico de los tragantes.....	114
7.6. Memoria de Cálculo.....	115
Capítulo 8 : Diseño Geométrico	121
8.1. Sección típica	121
8.2. Alineamiento Horizontal de las Carreteras	122
8.2.1. Distancias de Visibilidad de Parada.....	123
8.2.2. Curvatura Horizontal y Sobre elevación.....	125
8.2.3. Factor máximo de fricción lateral y tasa de sobreelevación.....	126
8.2.4. Radios mínimos y grados máximos de curva.	127
8.2.5. Elementos geométricos de la curva horizontal.....	128
8.2.6. Curvas Horizontales de Transición.	129
8.3. Alineamiento Vertical de las Carreteras	132
8.3.1. Curvas Verticales.....	133
8.3.2. Curvas verticales en cresta o convexas.....	134
8.3.3. Curvas verticales en columpios o cóncavas.	135
8.4. Intersecciones	137
8.4.1. Conceptos generales de una intersección.	138
8.4.2. Elección y clasificación del tipo de intersección a utilizar.	139
8.4.3. Elementos de diseño geométrico.....	142
8.4.4. Intersecciones en el tramo 2.....	144
8.5. Memoria de cálculo	145
8.5.1. Diseño geométrico para el tramo 1 (T1).	145
8.5.2. Diseño geométrico para el tramo 2 (T2).	152
Capítulo 9 : Evaluación de impacto ambiental.....	156
9.1. Marco legal.....	156

9.2. Descripción del proyecto.....	157
9.3. Medio físico.....	157
9.4. Medio biótico	157
9.5. Impactos Ambientales negativos del proyecto	158
9.5.1. Evaluación cualitativa de los impactos negativos.	160
9.6. Medidas de mitigación	163
Capítulo 10 : Documentación Técnica de la Obra	168
10.1. Planos.....	168
10.2. Alcances de obra.....	169
10.2.1. Equipo a utilizar	173
10.3. Costos de proyectos	173
10.3.1. Cálculo del costo	174
10.4. Cronograma del proyecto.....	180
10.5. Especificaciones técnicas	187
10.5.1. Especificaciones para concreto hidráulico.....	187
10.5.2. Especificaciones para pavimento adoquinado	196
10.5.3. Especificaciones técnicas generales	199
Conclusiones	202
Recomendaciones.....	206
Bibliografía.....	207
Anexos	208

Índice de tablas

Tabla 1-1. Población objetivo-----	07
Tabla 1-2. Identificación del problema causa-efecto-----	09
Tabla 2-1. Levantamiento planimétrico-Tramo 1-----	16
Tabla 2-2. Levantamiento planimétrico-Tramo 2-----	17
Tabla 2-3. Levantamiento altimétrico_Nivelación compuesta. Tramo 1 (T1) -----	18
Tabla 2-4. Levantamiento altimétrico_Nivelación compuesta. Tramo 2 (T2) -----	20
Tabla 3-1. Aplicación de los volúmenes de tránsito-----	27
Tabla 3-2. Resultados del aforo (día 1) -----	33
Tabla 3-3. Resultados del aforo (día 2) -----	34
Tabla 3-4. Resultados del aforo (día 3) -----	35
Tabla 3-5. Tránsito Promedio Diario (TPD) -----	36
Tabla 3-6. Factor direccional de la corriente de tránsito-----	38
Tabla 3-7. Promedio total de vehículos diarios-----	38
Tabla 3-8. Determinación del tráfico (expandido a 24 horas) -----	39
Tabla 4-1. Ensayes de laboratorio realizados para el suelo de sitio-----	44
Tabla 4-2. Ensayes de laboratorio realizados a material de banco-----	44
Tabla 4-3. C.B.R. de diseño según tipo de tránsito-----	49
Tabla 4-4. Relación esfuerzo-penetración-----	49
Tabla 4-5. Clasificación del CBR-----	50
Tabla 4-6. Contenido de Cemento probable para suelos limosos y arcillosos-----	53
Tabla 4-7. Valores de CBR encontrados (muestra 1) -----	64
Tabla 4-8. Valores de CBR encontrados (muestra 2) -----	64
Tabla 4-9. Valores de CBR encontrados (muestra 3) -----	64
Tabla 4-10. Valores de CBR encontrados (muestra 4) -----	64
Tabla 4-11. CBR encontrados con el martillo de CLEGG (Material Selecto) -----	65
Tabla 4-12. Selección de CBR de diseño para la sub-rasante-----	65

Tabla 4-13.	Resultado de los ensayos para el tramo 1(T1)	68
Tabla 4-14.	Resultado de los ensayos para el tramo 2 (T2)	68
Tabla 4-15.	Resultado de los ensayos para el banco de préstamo	69
Tabla 4-16.	Datos de especímenes elaborados en el laboratorio	70
Tabla 4-17.	Resultados de CBR con 16% de cemento	71
Tabla 4-18.	Resultados de CBR con 18% de cemento	71
Tabla 4-19.	Resultados de CBR con 20% de cemento	72
Tabla 4-20.	Dosificación de suelo-cemento (para 1 m³ de material seco suelto)	72
Tabla 5-1.	Coeficientes de escorrentía	76
Tabla 5-2.	Áreas que generan caudal	81
Tabla 5-3.	Factores para calcular intensidad de lluvia (Estación Bluefields)	84
Tabla 5-4.	Resultado de estudio hidrológico	87
Tabla 6-1.	Índice de Serviciabilidad recomendados	90
Tabla 6-2.	Desviación estándar en función de la confiabilidad	92
Tabla 6-3.	Desviación estándar para pavimentos	92
Tabla 6-4.	Coeficientes de drenaje para pavimentos rígidos	95
Tabla 6-5.	Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles	95
Tabla 6-6.	Coeficientes de transferencia de cargas	96
Tabla 6-7.	Perdida de soporte	97
Tabla 6-8.	Determinación del ESAL's de diseño	98
Tabla 6-9.	Valores de confiabilidad recomendada	99
Tabla 6-10.	Variables de diseño para el pavimento rígido	101
Tabla 6-11.	Diseño final para el tramo 1 (T1)-Concreto hidráulico	102
Tabla 6-12.	Variables de diseño para el pavimento semi-rígido (AASHTO 93)	103
Tabla 6-13.	Diseño final para el tramo 2 (T2)-Adoquinado	106
Tabla 7-1.	Coeficientes de rugosidad de Manning	108
Tabla 8-1.	Tasas de sobreelevación	126

Tabla 8-2.	Factores de fricción lateral-----	127
Tabla 8-3.	Radio s mínimos y grados máximos de curvas-----	130
Tabla 8-4.	Longitudes de Desarrollo de la Sobreelevación-----	132
Tabla 8-5.	Tasa de curvatura para curvas en cresta-----	135
Tabla 8-6.	Controles de diseño para curvas verticales en columpio-----	137
Tabla 8-7.	Radio s de curvas simples según vehículo de diseño-----	143
Tabla 8-8.	Radio s mínimos de giro de los vehículos de diseño-----	144
Tabla 8-9.	Datos para el diseño geométrico de la Curva horizontal 1 del tramo 1-----	146
Tabla 8-10.	Diseño geométrico de curvas horizontales para el tramo 1 (T1) -----	147
Tabla 8-11.	Longitud de diseño de curvas verticales del tramo (T1) -----	149
Tabla 8-12.	Datos de curvas verticales del tramo 1 (T1) -----	150
Tabla 8-13.	Diseño geométrico de curvas horizontales en el tramo 2-----	153
Tabla 8-14.	Longitud de diseño de curvas verticales en tramo 2-----	154
Tabla 8-15.	Datos de curvas verticales del tramo 2 (T2) -----	155
Tabla 9-1.	Impactos negativos del proyecto-----	158
Tabla 9-2.	Matriz Causa – Efecto-----	160
Tabla 9-3.	Matriz para la valoración de impactos negativos-----	161
Tabla 9-4.	Matriz de impactos negativos del proyecto-----	162
Tabla 9-5.	Medidas de mitigación-----	164
Tabla 9-6.	Matriz para la valoración de impactos negativos-----	165
Tabla 9-7.	Matriz de impactos negativos del proyecto-----	166
Tabla 9-8.	Impactos negativos sin y con medidas de mitigación-----	167
Tabla 10-1.	Datos generales del tramo 1-----	170
Tabla 10-2.	Datos generales del tramo 2-----	170
Tabla 10-3.	Alcances de obra-Tramo 1, Concreto Hidráulico-----	171
Tabla 10-4.	Alcances de obra-Tramo 2, Concreto semi-rígido-----	172
Tabla 10-5.	Resumen del costo del Tramo 1, Concreto Hidráulico-----	176

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 10-6.	Resumen del costo del Tramo 2, Concreto semi-rígido-----	178
Tabla 10-7.	Duración de actividades para el tramo 1, pavimento rígido-----	180
Tabla 10-8.	Duración de actividades para el tramo 2, pavimento semi-rígido-----	181
Tabla 10-9.	Rendimiento de equipo (tramo 1, pavimento rígido) -----	182
Tabla 10-10.	Rendimiento de equipo (tramo 2, pavimento semi-rígido) -----	182
Tabla 10-11.	Dosificación de suelo-cemento-----	189

Introducción

La manera en que una población crece y se desarrolla, genera un mayor movimiento social, comunicativo y comercial, lo que trae consigo la necesidad de contar con áreas viales que tomen en cuenta dichos aspectos. Una vía es un espacio lineal que permite el paso de personas y vehículos, además, brinda acceso a las edificaciones y lotes que se encuentran a ambos lados de la misma. Por estas razones, en el diseño de una vía se deben considerar tanto aspectos técnicos y económicos como también sociales.

El proyecto final de una vía debe cumplir con las necesidades de los usuarios, es por ello que el diseño geométrico de pendientes, anchos de carriles y curvas horizontales y verticales se debe realizar con mucho detalle para garantizar la seguridad en la vía y la circulación continua de los vehículos que por ella transitan; pero además de esto, se debe considerar como un punto importante, el crecimiento del tránsito, ya que muchas veces es el principal factor en el deterioro de las carreteras.

En el municipio de El Tortuguero de la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur de Nicaragua, uno de los principales problemas que afecta a los habitantes del casco urbano de dicho municipio, son las calles en mal estado. Cabe mencionar, que las causas de la destrucción total o parcial de una obra vial pueden ser varias; por ejemplo, la mala calidad del material de sub-rasante y/o el incremento no considerado del tránsito atraído por la construcción de una nueva carretera. Tal fue el caso en dicho municipio, debido a la construcción de una carretera que conecta a éste con el municipio de El Rama, se incrementó en gran medida la circulación de tránsito pesado.

Actualmente, en la parte central del casco urbano del municipio, la congestión vehicular causada por: el pésimo estado de las calles y su mal diseño geométrico, es un problema que se está convirtiendo en parte de la vida diaria de la población, sumado a esto también está el crecimiento del tránsito peatonal que no cuenta con andenes o aceras.

Es importante destacar que cierta parte de red vial cuenta con una carpeta de rodamiento de embaldosado pero esta se encuentra en muy malas condiciones. El objetivo de este trabajo es proponer un nuevo diseño tanto geométrico como de pavimento para determinado tramo vial en el municipio de El Tortuguero. Aquí se presenta una propuesta de concreto hidráulico para un tramo de 946.97 m que corresponde a la entrada principal del municipio y una propuesta de adoquinado para un tramo de 782.49 m perteneciente a un calle secundaria. Basado en una respuesta positiva de la construcción de este proyecto, se estaría resolviendo los problemas de congestionamiento vehicular y el deterioro que se presentan actualmente en las vías de dicho lugar.

Antecedentes

En el año de 1940, cuando fue creado el Departamento de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas actualmente con el nombre de Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), en Nicaragua solamente existían 201 km de carreteras, de los cuales sólo 52 eran pavimentados.

De acuerdo al documento “Red Vial de Nicaragua 2014” publicado por el MTI, hoy en día Nicaragua cuenta con 24137.49 km de carreteras de los cuales 3653.38 km están pavimentados (Adoquín, Asfalto y Concreto Hidráulico), y 20484 km no pavimentados, que corresponden al 15.14% y 84.86% respectivamente.

También, a través de la búsqueda de información sobre el desarrollo de las vías de transporte en nuestro país, se encontró, que no fue sino hasta el año 2009 cuando se empezó a emplear el concreto hidráulico en la construcción y rehabilitación de carreteras. El cual ha sido una buena opción para carreteras con tránsito pesado o pavimentos en lugares con poca capacidad de soporte, como en la Costa Atlántica.

Por otro lado, antes de realizar el diseño del tramo vial en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, se llevó a cabo una recopilación de datos para determinar la existencia de estudios que pudiesen servir como referencia. Se encontró que durante el periodo del gobierno municipal 2000 – 2005 se hicieron caminos de estación seca y se construyeron algunos andenes en el sitio donde se prevé el nuevo diseño. Además, durante el gobierno municipal (2005 – 2009) se construyeron las calles embaldosadas que actualmente existen en el lugar; pero ningún tipo de estudio fue realizado para el diseño o ejecución de dichos proyectos.

Justificación

En Nicaragua, es común que los municipios más alejados de la Capital y principalmente aquellos con difícil acceso, no cuenten con infraestructura vial en buen estado, es decir, sus calles no presentan condiciones favorables para los usuarios.

Asimismo, los problemas en estos lugares varían de acuerdo a la estación del año, en verano las polvaredas y en invierno las charcas y corrientes. Cada cual con repercusiones en la salud de la población. Por ejemplo, las enfermedades respiratorias producidas por el polvo son las más comunes durante la estación seca, mientras que en la temporada lluviosa, las aguas estancadas en las calles son los criaderos perfectos para el mosquito transmisor del Dengue, el Chikungunya y el Zika.

El municipio de El Tortuguero (R.A.C.C.S) no es la excepción a los problemas antes descritos. Debido al mal estado de las calles en este municipio sus pobladores sufren dichas afectaciones. Está problemática también afecta a los comerciantes y productores del lugar a quienes se les dificulta la movilización de sus productos, lo que conlleva a un aumento en el costo de los mismos.

Con el proyecto “Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua”. Se daría solución en cierta medida al problema que afecta a los habitantes de este lugar; ya que tener vías de circulación vehicular bien diseñadas y en buenas condiciones, no sólo da un mejor aspecto estético a un lugar, sino que también beneficia a quienes las utilizan, sin importar si lo hacen de manera cotidiana o de forma casual.

Además de favorecer a la población, también beneficiaría a los distintos comercios e instituciones ubicadas en esa zona, puesto que con infraestructuras viales en buen estado y señalizadas, es más fácil tener acceso a determinado sitio. Por otro lado, conlleva una disminución del riesgo que se produzcan accidentes de tránsito.

Objetivos

Objetivo general

- Diseñar un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico técnico preliminar de las condiciones actuales del tramo vial en estudio dentro del casco urbano del municipio de El Tortuguero.
- Ejecutar los estudios de ingeniería referidos a: topografía, geotecnia, hidrología y tránsito por medio de los cuales se obtenga la información necesaria para la realización de los diseños del tramo vial.
- Diseñar la estructura de pavimento, el drenaje y geometría del tramo de manera eficiente y económica para un periodo de diseño de 20 años.
- Estimar el costo total del proyecto definitivo, en base al diseño geométrico y a la estructura de pavimento propuesta.

Capítulo 1 : Diagnóstico del Sitio del Proyecto

1.1. Descripción del sitio

1.1.1. Localización del área de estudio.

El municipio de El Tortuguero tiene una extensión territorial de 2,471 Km², está ubicado en el centro de la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur de Nicaragua (RACCS), aproximadamente a 530 kilómetros de la ciudad de Managua / capital de la República, entre las coordenadas 12°49´ latitud norte y 84°12´ longitud oeste. Limita con:

Norte: Municipio de La Cruz de Rio Grande (RACCS).

Sur: Municipios de El Rama y Kukrahill (RACCS).

Este: Municipio Laguna de Perlas y Desembocadura de Rio Grande (RACCS).

Oeste: Municipios de El Rama y Bocana de Paiwas (RACCS).

Figura 1-1. Macro y micro localización del sitio del proyecto

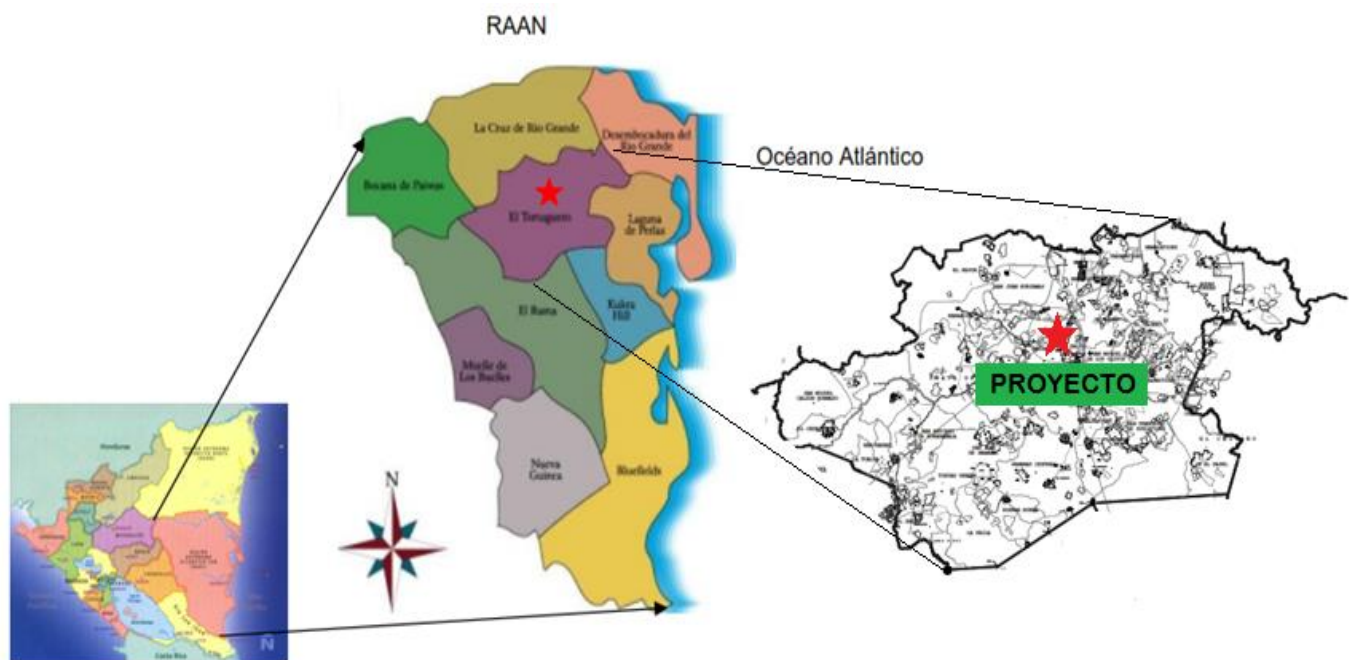


Figura 1-1. Macro y micro localización del sitio del proyecto.

Fuente: Alcaldía de El Tortuguero. (2004).

1.1.1.1. Hidrografía.

El territorio del municipio se encuentra en la cuenca N° 57 del Río Kurinwas; esta cuenca tiene un área de 4,456.76 km². El río mide 160 kms de longitud y atraviesa el municipio en dirección oeste-este en forma más o menos paralela al Grande de Matagalpa, presenta saltos y raudales en sus cabeceras pero desde el curso inferior transcurre en áreas pantanosas. Este río es de mucha importancia para el municipio, por ser el desaguadero de la región y por su utilidad socioeconómica como principal vía de comunicación.

Su principal afluente es el Río Kukarawala en cuya ribera se encuentra enclavada las menores que drenan la cuenca, los caños y criques, que a la vez sirven de vías de cabecera municipal; sin embargo, hay una abundante red de fluentes tributarios comunicación y de entrada a campesinos pioneros para el avance de la frontera agrícola.

1.1.1.2. Accidentes geográficos.

El Tortuguero se ubica principalmente en la Provincia geomorfológica de la Planicie Costanera del Atlántico, sub-provincia Planicie Fluvio-Marina Intermedia del Terciario; se caracteriza por un relieve dominante plano hasta fuertemente ondulado, con pendientes que fluctúan entre 0 y 15%, pero también se pueden encontrar pendientes moderadamente escarpadas, de 15 a 30%, y en la misma se dan elevaciones de 10 a 60 msnm en promedio.

La elevación más importante es el cerro Wawashang al sur del municipio con 554 mts de altura, uno de los que forman parte de la serranía de Wapí. Este relieve obedece a la fase terminal de un antiguo vulcanismo que tuvo por escenario la parte sur de la Meseta Central de Nicaragua, aunque los cráteres originados por el mismo han sido casi borrados por las lluvias. Además existen otros cerros de menor importancia como Waspado, El Indio, Mata de Caña, La Guitarra, La Toalla, San Francisco, El Pavón, El Pinol, Cerro Silva y Cerro Belén.

1.1.1.3. Datos relevantes de la población.

El nivel de pobreza de la zona es severo, según el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE, 2015).

Tabla 1-1. Población objetivo

Concepto	Censo Nacional		Tasa de crecimiento (%)	Población actual (2016)
	1995	2005		
Municipio de El Tortuguero	9,402	22,324	9.0	58,094
Urbano	834	1,737	7.6	3,888
Rural	8,568	20,587	9.2	54,206

Fuente: *Alcaldía de El Tortuguero*. (2009).

1.1.1.4. Servicios básicos del sitio.

Centros de educación: en el poblado existen tres centros de educación, Pre-escolar, Primaria (Colegio San José) y Secundaria (Instituto Francisco Espinoza), respectivamente.

Centro de salud: existe un centro de salud donde atienden la mayor parte de los servicios básicos de la población.

1.2. Información técnica

1.2.1. Suelo predominante.

A simple vista se puede apreciar en toda la longitud de cada uno de los tramos que el suelo predominante es un suelo arcilloso de color rojizo y en algunas secciones la presencia de pequeñas cantidades de arena y grava; y a través del estudio de suelo realizado se pudo constatar que el suelo del lugar es un suelo arcilloso con pequeñas cantidades de limo y arena. Dicho suelo tiene una capacidad de soporte muy baja.

1.2.2. Topografía del terreno.

En general el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua, presenta una topografía bastante plana con pendientes que varían gradualmente, sobre la línea central de la vía, entre el 2% y el 5% aproximadamente.

1.2.3. Sistema de drenaje pluvial.

El sistema de drenaje pluvial actual en este sector es a través del sistema de cunetas (en ciertas partes del tramo). Por la pendiente de la mayoría de los lotes de terrenos provoca que el agua proveniente de los mismos vaya a parar a las calles, causando un exceso de aguas grises sobre las mismas durante gran parte del año; además, la mayor parte del agua es depositada a un cauce natural que nace de las aguas provenientes del tramo 2 (T2) y que finalmente va a parar al río que atraviesa el poblado.

1.2.4. Disposición de desechos sólidos

Los desechos sólidos son recolectados por un camión recolector de la alcaldía municipal para posteriormente ser depositados al vertedero municipal. La frecuencia de recolección de la basura es de una a dos veces a la semana.

1.3. Estado actual del camino existente

El propósito del diagnóstico del sitio del proyecto es conocer el estado actual del tramo de calle mencionado. Los estudios de ingeniería requeridos para este tipo de infraestructura se orientan con mayor eficiencia si se conoce el entorno físico del sitio del proyecto. Toda información técnica disponible que pueda tenerse del proyecto contribuirá significativamente en obtener un diseño ajustado a la realidad del sitio donde se construirá la de vía.

A través del previo conocimiento de las características socioeconómicas de la zona, es posible medir cualitativamente el impacto positivo que tendrá el proyecto una vez que entre en funcionamiento.

El proyecto “Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua”, consta de dos tramos de calles, tramo 1(T1) y tramo 2 (T2). La primera es la que funciona como vía de acceso principal; conecta la carretera que va del poblado de Wapí (El Rama) con el poblado de El Tortuguero, y tiene una longitud de 947 metros lineales; la segunda es una calle principal alterna que va paralela a la anterior, pero que en gran parte de su longitud funciona como una calle secundaria, esta tiene una longitud de 782 metros lineales.

El estado en que se encuentran los dos tramos de calles actualmente es irregular, encontrándose baches con mucha agua y lodos, fracturas en la parte correspondiente a losas de concreto o demasiado material suelto en la parte construida de material de banco (Macadam), además las corrientes de agua durante la mayor parte del año es

bastante crítico en algunos tramos que presentan pendientes arriba del 4% en rectas de longitudes considerables, cruces de agua de una banda a otra que dan mal aspecto a las calles y sin olvidar el mal diseño de las curvas horizontales. El ancho promedio de la calzada en los tramos contruidos de concreto es de 6 metros y en los tramos contruidos con material de banco presenta anchos de calzada de entre 4 metros a 6.5 metros.

1.3.1. Identificación del problema.

La población demanda la pronta rehabilitación de ambos tramos de calles (en estudio) para evitar la formación de charcas o cruces de agua indebidas, que generan vectores de enfermedades respiratorias y gastrointestinales en época de invierno y de igual forma en la época de verano por las corrientes de aguas grises que se mantienen en forma permanentes en algunas secciones de los tramos y, sin obviar el hecho de los problemas que causa el polvo a la salud de la población. Otro de los problemas presentes indirectamente es el mal aspecto que presentan dichas calles al estar en malas condiciones, por ser las más transitadas por vehículos y peatones.

Tabla 1-2. *Identificación del problema causa-efecto.*

Problema principal	Causas	Efectos (consecuencias)
Mal estado de las vías que dificulta la libre circulación por la zona.	Creación de charcas de agua, durante todo el año.	Formación de vectores.
	Formación de polvo en exceso durante el verano.	Enfermedades respiratorias, oculares, infecciones dermatológicas, difícil circulación vehicular.
	Congestionamiento vehicular diariamente.	Mal aspecto al lugar.

Fuente: Elaboración propia. (2016).

Con la visita al sitio, se pudo constatar la malas condiciones en las que se encuentra el camino existente, huecos, pegaderos de lodos, gran cantidad de piedras sueltas, demasiados cruces de aguas de una banda a otra y demasiada agua escurriendo por la calle, son los principales problemas con los que los usuarios de dicha vía tienen que lidiar. En las imágenes 1-1 y 1-2 se muestra parte de la situación permanente del sitio del proyecto.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.



Imagen 1-1. Situación actual del sitio del proyecto (Tramo 1).
Fuente: *Elaboración propia.* (2016).



Imagen 1-2. Situación actual del sitio del proyecto (Tramo 2).
Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Capítulo 2 : Estudio Topográfico

El estudio topográfico es el conjunto de diversas operaciones realizadas con instrumentos especiales, cuya finalidad es la determinación de la posición relativa de los puntos sobresalientes localizados sobre la superficie de la tierra, los cuales permitirán obtener una representación gráfica que proporcione las principales características del relieve, mediante un mapa topográfico. Estas operaciones consisten en medir distancias y ángulos horizontales y verticales entre diversos objetos terrestres, valiéndose de mediciones previas.

En el campo de la ingeniería civil, el conocimiento de las características topográficas del terreno es prácticamente indispensable, ya que por medio de estos pueden suministrar los datos necesarios para el diseño de carreteras, puentes, vías férreas, terracerías, etc.

2.1. Equipo topográfico

Teodolito: Es un aparato universal utilizado en los levantamientos topográficos, puede usarse para trazar y medir ángulos horizontales, verticales, diferencias de elevaciones, etc.

Plomada: Es una pera metálica terminada en punta y suspendida de una cuera muy fina, sirve para marcar la proyección de un punto a cierta altura sobre el suelo.

Cinta métrica: se utiliza en la medición de distancias tales como el levantamiento de secciones transversales, o hacer el cadenamiento durante el levantamiento con el teodolito, medir la distancia de un punto que se tomó como referencia cuando se hizo el levantamiento, etc.

Nivel: Los niveles son instrumentos constituidos básicamente por un telescopio y un nivel de burbuja, dispuestos en forma tal que la visual (o línea de colimación definido por la intersección de los hilos de la retícula). Solamente puede fijarse horizontalmente.

Estadia: Es una regla graduada de sección rectangular, es utilizada para hacer nivelaciones con auxilio del nivel o el teodolito. Es una regla dividida en metros y fracciones de metro generalmente en colores vivos: blanco, negro y rojo para que resalten y puedan leerse con precisión a la mayor distancia posible.

2.2. Procedimiento y Desarrollo de un estudio topográfico

En primer lugar, se requiere definir la forma dimensional del terreno, lo cual se logra levantando una poligonal abierta a lo largo del eje central de la carretera (en una vía se refiere a la línea que separa los sentidos de circulación).

Se debe describir el relieve del terreno, para su configuración se efectúa una nivelación, generalmente en los puntos más relevantes y a ambos lados del eje central.

Se debe brindar la localización topográfica o detalles de interés, tales como:

- Tendido eléctrico.
- Tendido telefónico.
- Drenaje de aguas servidas o pluviales.
- Red de agua potable.
- Pozos de visita y tragantes de agua pluvial existente.
- Localización de derecho de vía.
- Mojones, BM.
- Puntos de referencia (árboles de gran tamaño, arroyos, cauces, etc.).
- Vías de acceso.
- Construcciones existentes.

La forma acostumbrada para presentar los datos topográficos es plasmándolos en un plano denominado de conjunto.

En los trazos para construcción, el topógrafo proporciona todas las marcas de referencia necesarias para que cada parte de la nueva obra se ubique correctamente dentro del terreno en que se construye.

El topógrafo prepara los planos del sitio de construcción en el cual muestra las relaciones entre el terreno y la obra que se construirá, se encarga de marcar sus posiciones horizontales y elevaciones.

El trabajo del topógrafo debe hacerse a un ritmo tal que proporcione las marcas necesarias justo antes el momento en que las va a requerir el constructor en las operaciones o actividades que conlleva la construcción de la vía; no debe adelantarse demasiado, ya que las marcas podrían destruirse por la misma construcción. A este proceso topográfico se le denomina topografía de la construcción.

Antes de iniciar el diseño de la construcción se debe proporcionar a los ingenieros, toda clase de información topografía relativa al sitio donde se va ejecutar la obra.

2.3. Planimetría

Uno de los métodos más empleados en los levantamientos topográficos y quizás uno de los más precisos, es el levantamiento con cinta y teodolito (método utilizado este levantamiento); estos se aplican en general a la mayor parte de los levantamientos de precisión ordinaria, excluyendo la nivelación. En las poligonales abiertas lo primero que el topógrafo debe definir es el sentido del itinerario, el cual puede ser positivo (en sentido de las manecillas del reloj) o negativo (anti horario); una vez definido este, se procede a

hacer una descripción general del trabajo para trazar la poligonal, se debe elegir las estaciones de forma ventajosa para poder avanzar en el levantamiento. En este tipo de poligonales no se obtiene ningún cierre, no se puede determinar el error angular acumulativo.

En la mayoría de los levantamientos con teodolito se localizan ciertos detalles o accidentes de tipo naturales o artificiales del terreno con respecto a los vértices de las poligonales. La cantidad de detalles puede ser pequeña (levantamientos de linderos) o grandes (levantamientos taquimétricos).

Métodos utilizados en el levantamiento de detalles:

- Por ángulo y distancia de una estación del polígono.
- Por medio de los ángulos desde dos estaciones del polígono.
- Tomando medidas lineales desde dos estaciones.
- Por el ángulo de una estación y la distancia de otra.
- Por ordenadas perpendiculares levantadas de los lados del polígono establecido.

2.4. Altimetría

Nivelación compuesta: es la nivelación más corriente y de más frecuente en la práctica diaria, y no es más que una sucesión de varias nivelaciones simples.

En la nivelación compuesta el aparato no permanece en un mismo sitio sino que va trasladándose a diversos puntos desde cada uno de los cuales se toman nivelaciones simples que van ligándose entre sí por los llamados Puntos de Cambio (PC) o Puntos de Liga (PL). Es de vital importancia la escogencia del PC, ya que de esto depende en gran parte la precisión del trabajo. Este debe ser estable y de fácil identificación, por lo general se utilizan pines o planchas metálicas para esto.

Se define como Punto de Cambio o de Liga (PC o PL), al punto donde se ejecutan las lecturas de frente y de espalda para calcular la nueva altura del instrumento y a la vez es el enlace entre dos nivelaciones simples.

Una Lectura de Espalda (LE), es una lectura de hilo central efectuada en la mira sobre un punto de elevación conocida, como por ejemplo la lectura del BM que se toma como referencia para nivelar los puntos restantes.

Una Lectura de Frente (LF), es la lectura de hilo central efectuada en la mira sobre un punto cuya elevación se desea conocer o bien un punto de cambio.

Precisión en la nivelación compuesta: Esta precisión depende probablemente de más factores que ningún otro trabajo topográfico y aunque influye mucho el instrumento empleado, es decisivo el grado de exactitud con que opera y la experiencia del

observador, las condiciones atmosféricas también ejercen gran influencia sobre la precisión deseada. Las prácticas nos dicen que en circunstancias normales con un nivel bien corregido, el máximo de precisión se puede mantener dentro de los siguientes límites: Nivelación aproximada, nivelación ordinaria, nivelación de precisión y nivelación de alta precisión.

Los levantamientos viales, son de carácter ordinario, se consideran levantamientos planos y se ejecutan como tal. La nivelación ordinaria se requiere en construcción de carreteras, vías férreas u otras construcciones civiles. Con visuales de hasta 190 metros y permite un error máximo permisible de $0.02\sqrt{k}$, donde k es la distancia total del recorrido de la nivelación expresada en Km.

El levantamiento de secciones transversales (alineamiento vertical), se hace normalmente cada 20 metros, con una longitud recomendable que incluye el derecho de vía como mínimo.

2.5. Levantamiento topográfico del proyecto

El levantamiento topográfico que se realizó para el proyecto “Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua”; está dividido en dos partes, ya que son dos calles las que éste comprende; por tanto se realizaron dos levantamientos topográficos independientes, excepto por el uso de un mismo BM de referencia inicial para el levantamiento altimétrico, por razones de que dichas calles se juntan en una rotonda en la parte central del pueblo.

El equipo topográfico utilizado para este levantamiento fue facilitado por la alcaldía municipal de El Tortuguero, RACCS y se menciona a continuación:

- Teodolito DT53.
- Estadia de 4 metros.
- Nivel NA 20
- Cinta de 30 metros.
- Plomadas

Los pasos que se realizaron son los siguientes:

- Levantamiento de la poligonal (alineamiento horizontal): la poligonal del proyecto es abierta, cuenta con puntos iniciales y finales fijados con anterioridad. Se tomó en consideración los puntos de control ubicados a lo largo de la alineación de la calle existente y en puntos en que se estuviese suficiente visibilidad para evitar el uso de líneas auxiliares.

- Nivelación del eje central (alineamiento vertical): se estableció un punto de elevación (BM: Banco Maestro), partiendo de un punto existente que se escogió el bordillo de la cuneta, ya que en este lugar no existe ningún punto georeferenciado.
- Se utilizó el teodolito para medir las distancias de cada uno de los estacionamientos de la poligonal a cada 20 metros. Para la realización de las secciones transversales se consideraron los pasos siguientes: Se eligió un BM y se le asignó una cota de 100 metros y posteriormente se instaló el instrumento en la primera estación (PI-1) observando al BM y se le hizo una lectura de espalda y a su vez midiendo el ángulo horizontal; registrando de forma ordenada cada lectura realizada, en los puntos de los distintos estacionamientos y en detalle de las secciones transversales. Este procedimiento se repitió de forma cíclica hasta llegar a la última estación requerida.

Para el establecimiento del perfil longitudinal y secciones transversales también se hicieron las siguientes consideraciones:

1. Se plantó el teodolito en la línea central que se podía observar en la calle existente.
2. Se estacionó el nivel en un punto adecuado de tal forma que permitiera observar el mayor número de estaciones desde el mismo sitio.
3. Se ubicó la Estadia en el BM establecido y se efectuó la lectura de espalda (LE).
4. Se definieron las secciones transversales perpendiculares a la línea central en cada estación y en las intersecciones espaciándolas según fuera conveniente.
5. Se anotaron lecturas del Hilo Central (hc) en el centro de las estaciones, a la izquierda y derecha, hasta la línea de derecho de vía.
6. Se efectuaron puntos de cambios cuando la visibilidad de los puntos ya no era posible.

2.6. Análisis e interpretación de resultados

El método utilizado para el levantamiento de la poligonal abierta del eje principal de la vía es teodolito y cinta, la tabla 2-1 y 2-2 (Datos del levantamiento del eje central del proyecto vial "El Tortuguero, RACCS") presentan los datos de las mediciones efectuadas en el campo, como son: los ángulos entre alineamientos, las distancias transversales y longitudinales entre puntos de interés. A su vez, se incluye en estas tablas la determinación del azimuth y el cálculo de los rumbos para cada uno de los dos tramos del proyecto vial, definidos a partir de los datos antes mencionados, mediante fórmulas aquí presentadas.

Seguidamente se muestran los datos y cálculos de la nivelación del terreno. Esta información está contenida en dos tablas, tabla 2-3 y 2-4 (Datos de la nivelación

compuesta del proyecto vial "El Tortuguero, RACCS"), que son las mismas que se utilizaron para levantar los datos de campo, tales como: Los estacionamientos a una equidistancia de 20 mts sobre el eje central de la vía existente, las distintas lecturas de espalda, lecturas de frente, e intermedias. Todo esto permitió calcular las cotas del terreno natural a lo largo del eje central de cada tramo; también se calculó las cotas del terreno en cada estacionamiento de forma transversal (izquierda, centro, derecha). Paralelamente se efectuaban las mediciones de distancias transversales en cada estacionamiento (cada 20 mts) del derecho de vía de la calle.

A continuación se presentan los resultados del levantamiento topográfico para el proyecto "Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S)-Nicaragua, el cual comprende dos calles que llegan hasta la parte central.

Tabla 2-1. Levantamiento planimétrico-Tramo 1

Datos de levantamiento planimétrico del Tramo 1						
Punto	Áng. horiz	Dist .long (m)	Δ	Rumbo	Derecho de vía (m)	
					Izquierda	Derecha
A	**203°57'21"				4.67	3.83
		80		S23°57'21"W		
1	147°49'40"		32°10'20"		6.70	3.90
		30.22		S08°12'5"E		
2	153°23'11"		26°6'49"		8.6	3.9
		200		S18°23'5"W		
3	177°36'00"		2°24'00"		4.35	8.95
		137.4		S20°47'5"W		
4	184°20'58"		4°20'58"		7.64	8.5
		280		S25°08'48"W		
5	183°29'55"		3°29'55"		8.77	8.1
		220		S28°48'83"W		
G					5.81	7.24
	$\Sigma=$	947.62				

** Azimut del lado 1 medido en la Est. 0+000.

Fuente: *Elaboración propia*. (2016).

Tabla 2-2. Levantamiento planimétrico-Tramo 2

Datos de levantamiento planimétrico del Tramo 2						
Punto	Áng. horiz	Dist. long (m)	Δ	Rumbo	Derecho de vía (m)	
					Izquierda	Derecha
A	**252°47'30"				5.52	5.02
		27.34		S72°47'30"W		
1	132°31'14"		47°28'46"		3.63	3.6
		255.96		S25°18'44"E		
2	156°07'15"		23°52'45"		3.5	4.66
		49.3		S01°25'59"E		
3	274°24'07"		94°24'7"		3.98	4.18
		100.7		N87°01'52W		
4	186°10'43"		06°10'43"		3.23	4.32
		90.0		N80°51'09"W		
5	82°48'43"		97°11'17"		5.11	5.22
		60.0		N16°20'02"E		
6	270°17'24"		90°17'24"		5.13	16.43
		48.9		S73°22'34"E		
7	211°20'53"		31°20'S3"		3.11	3.26
		120.85		N75°16'33"E		
8	187°32'50"		07°32'50"		2.17	4.37
		52.97		N67°43'43"E		
K					4	4.4
	$\Sigma=$	806.02				

*Azimut del lado 1 medido en la Est. 0+000.

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 2-3-a. Levantamiento altimétrico_Nivelación compuesta. Tramo 1 (T1).

DATOS DE NIVELACIÓN COMPUESTA DEL TRAMO 1 (T1)																	
ESTACIÓN	LECTURA DE ESPALDA	A.I	LECT. INTERMEDIA					LECTURA DE FRENTE	COTAS					DISTANCIA TRANSVERSAL DESDE EL CENTRO			
			IZQUIERDA	CENTRO	DERECHA		IZQUIERDA		CENTRO	DERECHA		IZQUIERDA	DERECHA				
BM	1.590	101.590							100								
0+000			1.405	1.538	1.502	1.540	1.382		100.185	100.052	100.088	100.050	100.208	4.67	3.00	3.00	3.83
0+020			1.200	1.265	1.269	1.288	1.160		100.390	100.325	100.321	100.302	100.430	4.70	3.00	3.00	3.90
0+040			1.270	1.469	1.390	1.460	1.340		100.320	100.121	100.200	100.130	100.250	5.35	3.00	3.00	3.90
0+060			1.640	2.040	2.000	1.925	1.120		99.950	99.550	99.590	99.665	100.470	5.80	3.00	3.00	3.90
0+080			1.600	2.540	2.542	2.520	2.437		99.990	99.050	99.048	99.070	99.153	7.60	3.00	3.00	3.90
PC1	3.420	102.468						2.542	99.048								
0+110			0.230	1.710	1.672	1.744	0.340		102.238	100.758	100.796	100.724	102.128	6.70	3.00	3.00	3.90
0+130			0.568	0.765	0.712	0.810	1.010		101.900	101.703	101.756	101.658	101.458	5.45	3.00	3.00	6.15
0+150			0.925	0.125	0.010	0.090	0.890		101.543	102.343	102.458	102.378	101.578	5.20	3.00	3.00	5.80
PC2	1.865	104.323						0.010	102.458								
0+170			0.756	1.310	1.242	1.223	0.325		103.567	103.013	103.081	103.100	103.998	5.25	3.00	3.00	5.70
0+190			0.148	0.715	0.620	0.683	0.148		104.175	103.608	103.703	103.640	104.175	5.10	3.00	3.00	6.10
0+210			0.010	0.120	0.140	0.165	0.100		104.313	104.203	104.183	104.158	104.223	4.80	3.00	3.00	6.40
PC3	4.260	108.443						0.140	104.183								
0+230			3.350	3.680	3.575	3.675	3.182		105.093	104.763	104.868	104.768	105.261	4.60	3.00	3.00	7.10
0+250			2.078	2.730	2.638	2.770	2.078		106.365	105.713	105.805	105.673	106.365	4.40	3.00	3.00	7.70
0+270			1.532	1.778	1.652	1.730	1.272		106.911	106.665	106.791	106.713	107.171	5.40	3.00	3.00	8.10
0+290			1.250	1.152	1.120	1.160	0.720		107.193	107.291	107.323	107.283	107.723	4.27	3.00	3.00	8.50
0+310			0.701	0.780	0.698	0.775	0.530		107.742	107.663	107.745	107.668	107.913	4.35	3.00	3.00	8.95
0+330			0.645	0.900	1.001	0.880	0.610		107.798	107.543	107.442	107.563	107.833	5.23	3.00	3.00	3.30
0+350			0.789	0.589	0.679	0.575	0.490		107.654	107.854	107.764	107.868	107.953	6.40	3.00	3.00	5.59
0+370			0.200	0.470	0.285	0.350	0.345		108.243	107.973	108.158	108.093	108.098	5.84	3.24	3.24	6.44

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 2-3-b. Levantamiento altimétrico_Nivelación compuesta. Tramo 1 (T1).

PC4	2.650	110.808						0.285	108.158								
0+390			2.550	2.500	2.310	2.350	2.850		108.258	108.308	108.498	108.458	107.958	6.48	3.24	3.24	7.50
0+410			2.250	2.250	2.010	2.070	1.860		108.558	108.558	108.798	108.738	108.948	6.93	3.13	3.13	7.19
0+430			2.005	2.130	1.915	1.980	1.810		108.803	108.678	108.893	108.828	108.998	7.80	3.00	3.00	5.50
0+447			2.012	1.997	1.787	1.848	1.737		108.796	108.811	109.021	108.960	109.071	3.54	3.47	3.47	8.05
0+467			1.845	1.950	1.835	2.222	2.302		108.963	108.858	108.973	108.586	108.506	8.57	3.07	3.07	6.74
0+487			1.760	1.995	1.975	2.345	2.540		109.048	108.813	108.833	108.463	108.268	9.10	3.60	3.60	6.16
0+507			1.700	1.949	2.045	2.459	2.559		109.108	108.859	108.763	108.349	108.249	8.47	3.62	3.62	7.77
0+527			1.500	1.895	1.910	2.510	2.510		109.308	108.913	108.898	108.298	108.298	8.96	3.36	3.36	9.09
0+547			1.330	1.785	1.784	2.370	2.460		109.478	109.023	109.024	108.438	108.348	9.09	4.34	4.34	8.48
0+567			1.338	1.685	1.650	2.180	2.230		109.470	109.123	109.158	108.628	108.578	8.53	4.53	4.53	8.17
0+587			0.960	1.360	1.247	1.660	1.670		109.848	109.448	109.561	109.148	109.138	8.52	4.06	4.06	7.76
0+607			0.640	0.883	0.765	1.218	1.275		110.168	109.925	110.043	109.590	109.533	8.86	4.16	4.16	9.36
0+627			0.595	0.750	0.325	0.765	0.815		110.213	110.058	110.483	110.043	109.993	7.68	3.44	3.44	10.20
PC5	2.010	112.493						0.325	110.483								
0+647			2.005	2.010	1.666	1.925	1.800		110.488	110.483	110.827	110.568	110.693	7.47	4.17	4.17	10.29
0+667			1.643	1.650	1.292	1.450	0.900		110.850	110.843	111.201	111.043	111.593	7.98	3.92	3.92	9.42
0+687			1.488	1.358	1.063	1.172	0.000		111.005	111.135	111.430	111.321	112.493	7.53	3.70	3.70	9.28
0+707			1.489	1.387	1.225	1.482	1.048		111.004	111.106	111.268	111.011	111.445	8.76	3.80	3.80	8.00
0+727			1.562	1.553	1.415	1.655	1.600		110.931	110.940	111.078	110.838	110.893	8.77	3.80	3.80	8.10
0+747			1.645	1.640	1.568	1.855	1.861		110.848	110.853	110.925	110.638	110.632	4.81	3.05	3.05	6.24
0+767			1.555	1.702	1.646	1.909	1.902		110.938	110.791	110.847	110.584	110.591	9.53	4.73	4.73	6.91
0+787			1.528	1.810	1.701	1.984	2.001		110.965	110.683	110.792	110.509	110.492	8.27	4.47	4.47	6.37
0+807			1.320	1.638	1.730	2.200	2.081		111.173	110.855	110.763	110.293	110.412	7.39	3.55	3.55	5.59
0+827			1.480	1.590	1.540	1.940	1.945		111.013	110.903	110.953	110.553	110.548	7.54	3.54	3.54	5.49
0+847			1.310	1.400	1.338	1.783	1.770		111.183	111.093	111.155	110.710	110.723	7.54	3.80	3.80	5.68
0+867			1.045	1.225	1.230	1.490	1.460		111.448	111.268	111.263	111.003	111.033	8.05	4.25	4.15	6.47
0+887			0.920	1.135	1.130	1.325	1.305		111.573	111.358	111.363	111.168	111.188	7.89	3.65	3.65	5.75
0+907			1.100	1.125	1.050	1.300	1.315		111.393	111.368	111.443	111.193	111.178	7.38	3.38	3.38	6.06
0+927			0.980	1.000	1.050	1.370	1.370		111.513	111.493	111.443	111.123	111.123	7.65	3.97	3.97	6.13
0+947			1.010	1.015	1.080	1.401	1.330		111.483	111.478	111.413	111.092	111.163	6.42	4.38	4.38	5.78

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 2-4-a. Levantamiento altimétrico_Nivelación compuesta. Tramo 2 (T2).

DATOS DE NIVELACIÓN COMPUESTA DEL TRAMO 2 (T2)																	
ESTACIÓN	LECTURA DE ESPALDA	A.I	LECT. INTERMEDIA					LECTURA DE FRENTE	COTAS					DISTANCIA TRANSVERSAL DESDE EL CENTRO			
			IZQUIERDA		CENTRO	DERECHA			IZQUIERDA		CENTRO	DERECHA		IZQUIERDA		DERECHA	
BM	4.1	104.100							100								
0+000			2.915	3.03	2.99	3.005	2.85		101.185	101.070	101.110	101.095	101.250	6.03	3.00	3.00	4.51
0+020			1.742	2.005	2.066	2.132	1.93		102.358	102.095	102.034	101.968	102.172	7.58	3.00	3.00	4.45
0+040			1.169	1.222	1.092	1.044	0.89		102.931	102.878	103.008	103.056	103.212	5.04	3.00	3.00	5.90
0+060			0.446	0.412	0.353	0.411	0		103.654	103.688	103.747	103.689	104.098	4.13	3.00	3.00	4.14
PC1	3.675	107.422						0.353	103.747						3.00	3.00	
0+080			3.07	3.141	3.108	3.158	2.9		104.352	104.281	104.314	104.264	104.522	3.00	3.00	3.00	4.34
0+100			2.305	2.565	2.473	2.502	2.38		105.117	104.857	104.949	104.920	105.040	3.00	3.00	3.00	4.29
0+120			2.258	2.458	2.351	2.457	2.11		105.164	104.964	105.071	104.965	105.314	3.00	3.00	3.00	4.52
0+140			2.534	2.509	2.444	2.449	1.48		104.888	104.913	104.978	104.973	105.938	3.45	3.00	3.00	4.71
0+160			1.613	1.843	1.761	1.747	1.09		105.809	105.579	105.661	105.675	106.332	3.00	3.00	3.00	4.12
0+180			0.388	0.868	0.731	0.861	0.32		107.034	106.554	106.691	106.561	107.102	3.85	3.00	3.00	3.98
PC2	4.65	111.341						0.731	106.691						3.00	3.00	
0+200			3.45	3.644	3.598	3.7	3.31		107.891	107.697	107.743	107.641	108.029	4.10	3.00	3.00	4.20
0+220			2.79	2.675	2.615	2.728	2.62		108.551	108.666	108.726	108.613	108.721	3.00	3.00	3.00	3.00
0+240			1.852	2.018	1.959	2.017	1.34		109.489	109.323	109.382	109.324	110.002	3.00	3.00	3.00	4.24
0+260			1.121	1.31	1.21	1.36	1.2		110.220	110.031	110.131	109.981	110.138	3.00	3.00	3.00	4.94
0+283			0.38	0.567	0.489	0.552	0.54		110.961	110.774	110.852	110.789	110.801	3.00	3.00	3.00	4.16
PC3	2.554	113.406						0.489	110.852						3.00	3.00	
0+303			1.758	1.92	1.924	1.968	1.85		111.648	111.486	111.482	111.438	111.557	3.00	3.00	3.00	4.21
0+323			1.492	1.742	1.591	1.67	1.61		111.914	111.664	111.815	111.736	111.801	3.00	3.00	3.00	4.18
0+343			1.807	1.887	1.727	1.848	1.78		111.599	111.519	111.679	111.558	111.624	4.00	3.00	3.00	3.39
0+363			2.131	2.23	2.1	2.189	2.07		111.275	111.176	111.306	111.217	111.336	4.31	3.35	3.35	5.33
0+383			2.385	2.465	2.312	2.5	2.29		111.021	110.941	111.094	110.906	111.121	6.18	3.08	3.08	4.72
0+403			2.112	2.865	2.6	2.75	2.64		111.294	110.541	110.806	110.656	110.763	7.33	3.29	3.29	5.09
0+423			2.702	2.88	2.65	2.74	2.64		110.704	110.526	110.756	110.666	110.771	9.79	3.39	3.39	6.02

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 2-4-b. Levantamiento altimétrico_Nivelación compuesta. Tramo 2 (T2).

PC4	0.743	111.499						2.65	110.756						3.00	3.00	
0+443			0.845	1.083	0.852	0.9	0.58		110.654	110.416	110.647	110.599	110.919	3.54	2.54	2.54	4.69
0+463			1.273	1.567	1.285	1.394	0.96		110.226	109.932	110.214	110.105	110.544	3.80	2.55	2.55	5.20
0+483			1.857	1.991	1.735	1.941	1.54		109.642	109.508	109.764	109.558	109.959	5.12	2.69	2.69	4.14
0+503			2.349	2.282	2.165	2.071	2.04		109.150	109.217	109.334	109.428	109.463	3.87	2.47	2.47	4.37
0+523			1.512	1.472	1.543	1.609	1.41		109.987	110.027	109.956	109.890	110.087	5.11	3.14	3.14	5.22
0+543			0.949	0.905	0.809	0.859	0.94		110.550	110.594	110.690	110.640	110.563	4.56	2.59	2.59	4.46
0+563			1.185	1.19	1.093	1.089	1.02		110.314	110.309	110.406	110.410	110.481	7.06	2.58	2.58	9.73
0+583			1.1	1.195	1.06	1.015	1.06		110.399	110.304	110.439	110.484	110.439	5.13	2.33	2.33	16.43
PC5	1.56	111.999						1.06	110.439								
0+603			1.475	1.62	1.54	1.61	1.14		110.524	110.379	110.459	110.389	110.860	8.78	3.32	3.32	24.30
0+623			1.518	1.607	1.501	1.604	1.62		110.481	110.392	110.498	110.395	110.376	4.70	2.90	2.90	4.95
0+643			1.77	1.828	1.63	1.74	1.47		110.229	110.171	110.369	110.259	110.534	4.05	2.00	2.00	3.40
0+663			2.135	2.415	2.303	2.46	2.32		109.864	109.584	109.696	109.539	109.679	4.10	1.80	1.80	4.32
0+683			2.405	2.725	2.61	2.76	2.73		109.594	109.274	109.389	109.239	109.274	3.26	1.70	1.70	4.00
0+703			3.425	3.45	3.335	3.405	3.22		108.574	108.549	108.664	108.594	108.784	3.53	1.90	1.90	3.30
0+730			3.48	3.675	3.58	3.46	3.44		108.519	108.324	108.419	108.539	108.559	3.49	1.97	1.97	3.37
PC6	1.523	109.942						3.58	108.419						3.00	3.00	
0+736			1.442	1.538	1.432	1.28	1.21		108.500	108.404	108.510	108.662	108.732	3.13	2.68	2.68	4.13
0+756			1.498	1.482	1.445	1.38	1.43		108.444	108.460	108.497	108.562	108.510	2.17	2.17	2.17	4.37
0+776			2.52	2.785	2.84	2.72	2.2		107.422	107.157	107.102	107.222	107.742	3.00	1.75	1.75	4.75
0+796			4.44	4.795	4.685	4.69	4.35		105.502	105.147	105.257	105.252	105.597	2.99	1.69	1.69	2.84
PC7	2.46	107.717						4.685	105.257						3.00	3.00	
0+806			3.21	3.415	3.42	3.182	3.02		104.507	104.302	104.297	104.535	104.699	3.84	2.14	2.14	3.52

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

El levantamiento topográfico es uno de los estudios principales en la formulación de cualquier proyecto tanto horizontal como vertical, y su elaboración debe ser realizada con mucho detenimiento y precisión. Cualquier error en los datos registrados afectara considerablemente los diseños. Este levantamiento fue supervisado por ingenieros de la alcaldía municipal de El Tortuguero, durante todo el tiempo que conllevó su realización, por cualquier consideración imprevista que invalidara los datos recopilados o en sí, todo el levantamiento de campo, si no se tomaban adecuadamente.

La primera parte del estudio topográfico correspondiente a la planimetría, por lo que primeramente se levantó el eje central de la vía, el cual se presenta en tablas anteriores, a través de una poligonal abierta a lo largo de cada tramo, junto con su derecho de vía.

La nivelación compuesta (Altimetría), mostrada en las dos últimas tablas de este estudio, correspondiente a cada tramo de vía, brinda la información necesaria para conocer las diferentes alturas del terreno, para posteriormente representarlas a través de un plano de curvas de nivel, con el cual, una vez obtenido el diseño del pavimento generar las secciones transversales a distancias específicas en todo el tramo de camino, haciendo uso del software CivilCAD. El resultado de este estudio refleja que el terreno es relativamente plano con pendiente máxima por tramo de aproximadamente 5%.

En la siguiente figura se muestra algunas curvas de nivel obtenidas a través de los resultados del estudio topográfico en el tramo 2, para una mejor interpretación es necesario ver los planos del proyecto.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

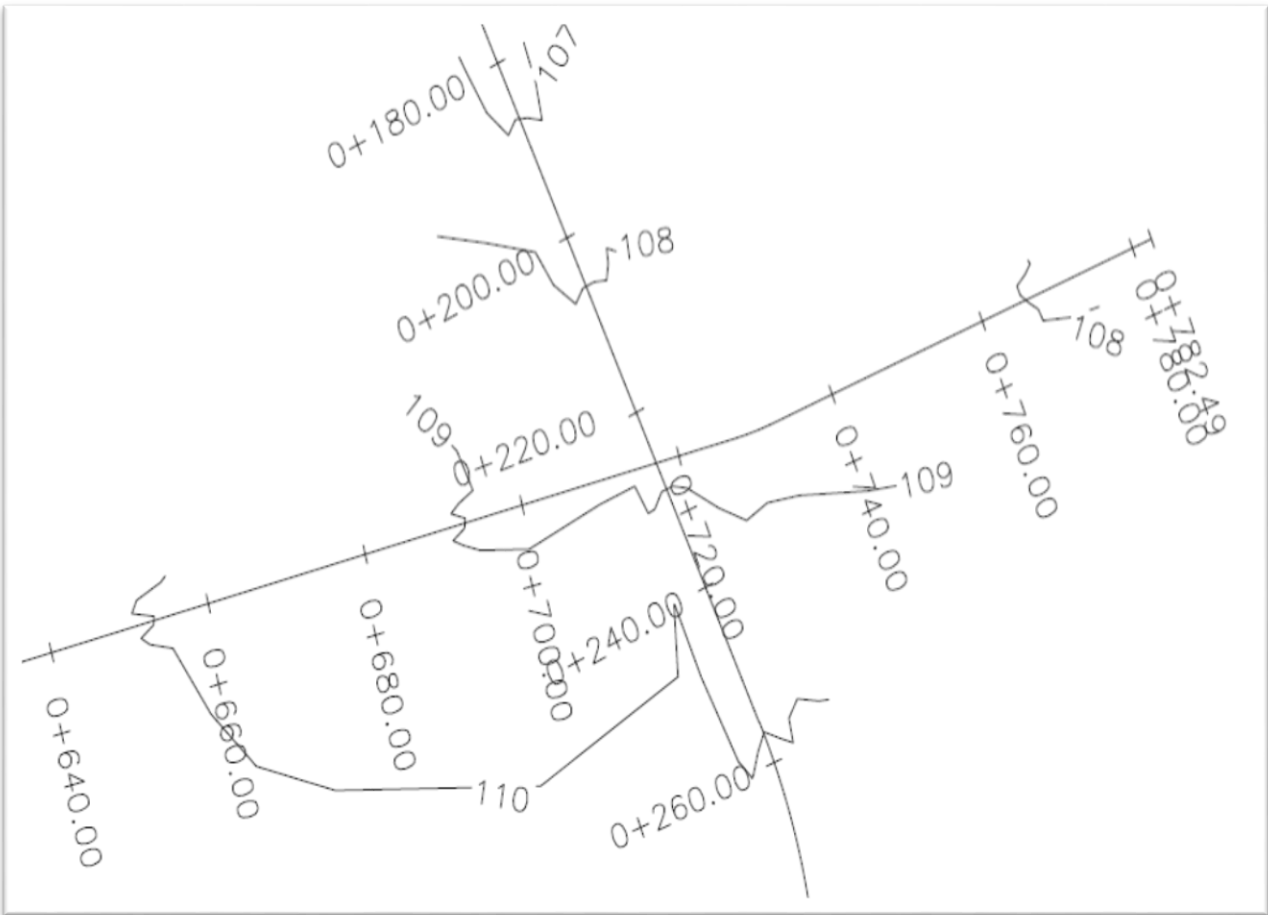


Figura 2-1. Curvas topográficas en tramo 2.

Fuente: *Elaboración propia*. (2016).

Para tener una mejor visualización de la representación gráfica de la configuración topográfica de los tramos, se recomienda analizar los planos adjuntos en este trabajo.

Capítulo 3 : Estudio de Tránsito

El estudio de tránsito provee información importante para el diseño geométrico y estructural de la carretera. Sin embargo, el peso de los vehículos influye de gran manera sobre la estructura de pavimento, por lo cual se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El tipo de tránsito.
- La carga máxima por rueda.
- La intensidad media anual de lluvia.

3.1. Tipos de tránsito

El tránsito se divide en tres categorías:

Tránsito liviano: cuando el número de vehículos comerciales por día fuera igual o inferior a 250, con un máximo de 20% de camiones, con carga por rueda igual a la máxima.

Tránsito medio: cuando el número de vehículos comerciales estuviere comprendido entre 250-750, con máximo de 20% de camiones, con cargas por rueda igual a la máxima.

Tránsito pesado: cuando el número de vehículos comerciales excediere de 750 o cuando hubiera más de 250 camiones por día, con carga por rueda igual a la máxima.

3.2. Características del tránsito

De las características del tránsito y la topografía del terreno depende el dimensionamiento de una carretera, entre las características se tiene.

Velocidad.

Según la física se define la velocidad como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo, una relación de movimiento que se expresa para velocidad constante mediante la fórmula:

$$V = d / t$$

Ecuación 3-1

Como la velocidad que desarrolla un vehículo queda afectada por las características del conductor y de la vía, por el volumen de tránsito y por las condiciones atmosféricas imperantes, quiere decir que la velocidad a que se mueve varía constantemente, lo que obliga a trabajar con valores medios de velocidad.

Velocidad de marcha.

La velocidad de marcha es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento.

En un viaje normal para obtener la velocidad de marcha, se descontará del tiempo total de recorrido todo aquel tiempo que el vehículo se hubiese detenido por cualquier causa.

Velocidad de proyecto.

Una velocidad que es de suma importancia es la llamada velocidad de proyecto o velocidad directriz, que es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables. Como su nombre lo indica, se utiliza para proyectar el alineamiento horizontal y el alineamiento vertical y la sección transversal de un camino, procurando alcanzar un equilibrio entre sus diferentes elementos.

La selección de la velocidad de proyecto depende principalmente del tipo de camino, volúmenes de tránsito, configuración topográfica y uso del suelo.

Tomando en cuenta las características operacionales de los vehículos modernos y las condiciones físicas y psicológicas de los usuarios de las carreteras, así como la topografía de nuestro país, se pueden establecer como límites para la velocidad de proyecto 30 km/h a 110 km/h. La velocidad de proyecto varía normalmente en incremento de 10 km/h de acuerdo a las categorías de los caminos, volúmenes de tránsito y configuración del terreno.

Capacidad vial.

Una medida de la eficiencia con la que un sistema vial presta servicio a la demanda vehicular es la capacidad vial.

La capacidad práctica de trabajo de un camino es el volumen máximo que alcanza antes de congestionarse o antes de perder la velocidad estipulada.

La capacidad teórica de un camino ha sido determinada tomando en cuenta las velocidades promedio entre 70 y 80 kilómetros por hora y separaciones entre vehículos de aproximadamente 30 metros.

Las condiciones más importantes que afectan la capacidad de las carreteras son: el ancho de sección, visibilidad, pendiente, ancho de acotamientos (hombros), porcentaje de vehículos pesados en la vía y la obstrucción lateral.

En cuanto a la visibilidad y a la pendiente, íntimamente ligadas con el alineamiento y la velocidad de proyecto, se puede decir que afectan a la capacidad práctica de un camino de una manera directa por las condiciones de que ellas llevan implícitas.

Nivel de servicio.

Debido a las consideraciones anteriores, las carreteras se diseñan para operar a volúmenes horarios por debajo de la capacidad. Entiéndase por nivel de servicio el volumen máximo horario del tránsito que una carretera acondiciona, dispuesto quizá a tolerar un mínimo de congestionamiento. Conviene aclarar que al hablar de congestionamiento en una carretera no se refiere a la paralización de todo el movimiento, sino cuando la corriente de tránsito empieza a perder su capacidad de flujo libre.

Los niveles de servicio se han definido subjetivamente por las letras de la “A” hasta la “F”; en el nivel de servicio “A” el volumen de tránsito es menor que la capacidad de la carretera, en el nivel de servicio “F” el volumen de tránsito es mayor que la capacidad de la carretera.

Vehículos de diseño.

Los vehículos de diseño son los vehículos predominantes y de mayores exigencias en el tránsito que se desplaza por la carretera.

3.3. Volúmenes de tránsito

Para la obtención de volúmenes de tránsito existen los métodos de aforo vehicular. De acuerdo al Manual Centroamericano para Diseños de Pavimentos (SIECA, 2002) el aforo vehicular es una muestra de los volúmenes de para el periodo que se realizan y tienen por objeto cuantificar el número de vehículos que pasan por un punto, sección de un camino o una intersección. El método que se utiliza frecuentemente para estimar el tránsito anual es el aforo mecánico.

Para el diseño de estructuras de pavimento es necesario conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado. Para el efecto se realizan estudios de volúmenes de tránsito, los cuales pueden variar desde los más amplios en un sistema de caminos, hasta el recuento en lugares específicos tales como: puentes, túneles o intersecciones de carreteras.

Aforos Manuales.

Son aquellos que registran a vehículos haciendo trazos en un papel o con contadores manuales. Mediante éstos es posible conseguir datos que no pueden ser obtenidos por otros procedimientos, como clasificar a los vehículos por tipo, número de ellos que giran u ocupantes de los mismos. Los recuentos pueden dividirse en 30 minutos e incluso 15 cuando el tránsito es muy denso. Para hacer los recuentos se deben preparar hojas de campo.

Estos aforos se realizan con el objeto de:

- Determinar la composición y volumen de tránsito en un sistema de carreteras.
- Evaluar el índice de accidentes.
- Datos útiles para la planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos.
- Proyectar sistemas de control de tránsito.
- Elaborar sistemas de mantenimiento.
- Establecer prioridades y técnicas de construcción.
- Determinar el tránsito futuro, etc.

En todo estudio de volúmenes de tránsito es necesario obtener dos datos básicos: el tránsito promedio diario general y el tránsito promedio diario de camiones. Estos se pueden obtener al efectuar censos o aforos de tránsito en el lugar de la construcción o si es nueva, mediante censos o aforos de tránsito en lugares próximos.

La información sobre volúmenes de tránsito es de gran utilidad en la planeación del transporte, diseño vial, operación del tránsito e investigación. Varios tipos de estudios de volúmenes y sus aplicaciones se ilustran en la siguiente tabla.

Tabla 3-1. *Aplicación de los volúmenes de tránsito*

Tipo de volumen	Aplicación
Volumen Promedio Diario (VMD) o Volumen total de tránsito	Estudios de tendencia, Planeación de Carreteras, Programación de Carreteras, Selección de Rutas, Evaluaciones Económicas.
Volúmenes Clasificados: Por tipo de vehículo, numero de ejes y/o peso	Diseño Geométrico, Diseño Estructural.
Volúmenes durante periodos de tiempo específicos	Diseño Geométrico

Fuente: *Manual Centroamericano para el diseño de carreteras*, SIECA. (2002).

Al proyectar una carretera la sección, las intersecciones, los accesos y los servicios dependen fundamentalmente del volumen de tránsito o demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado, de su variación, tasa de crecimiento y de su composición.

Los errores que se cometan en la determinación de estos datos, ocasionará que la carretera funcione durante el período de proyecto ya sea con los volúmenes de tránsito inferiores para los que se proyectó, o con problemas de congestionamiento por volúmenes de tránsito altos muy superiores a los proyectados.

Los estudios sobre volúmenes de tránsito son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos y/o personas sobre puntos específicos de un sistema vial. Estos datos de volúmenes de tránsito son expresados

con respecto al tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de estimaciones razonables de la calidad del servicio prestado a los usuarios.

El volumen de tránsito es el número de vehículos que pasan por un tramo de carretera en un intervalo de tiempo dado; los intervalos más usuales son el día y la hora, teniéndose el tránsito diario “TD” y el tránsito horario “TH”.

Expresándose así:

$$V_t = N / T \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Entendiéndose:

V_t = Vehículos que pasan por unidad de tiempo (Vehículos / Periodo)

N = Número total de vehículos que pasan

T = Periodo determinado (unidades de tiempo)

Volumen de tránsito promedio diario (TPD).

Se llama tránsito promedio diario al promedio de los volúmenes de tránsito que circulan durante 24 horas en un cierto periodo igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días de periodo. Siendo los más usuales:

Tránsito promedio diario anual (TPDA).

Se denomina TPDA al número total de vehículos que circulan por un punto determinado en un año completo entre número total de días del año, y se expresa de la siguiente manera:

$$TPDA = TA / 365 \quad \text{Ecuación 3-3}$$

Volumen horario de máxima demanda (VHMD).

Es el máximo número de vehículos que pasan por un tramo del camino durante una hora completa para un lapso establecido de observación. Es el representativo de los periodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular. De la tabla 3-5 se establece que la hora de máxima demanda es de

Variaciones en los volúmenes de tránsito.

Es fundamental en la planeación y operación de la circulación vehicular, conocer las variaciones periódicas de los volúmenes de tránsito dentro de las horas de máxima demanda, en las horas del día, en los meses del año, en los días de la semana.

Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda.

Un volumen horario de máxima demanda a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que el flujo sea constante durante toda la hora. Esto significa que existen períodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo muchos mayores a las de la hora misma. Factor de la hora de máxima demanda, FHMD, o factor de hora pico, a la relación que existe entre el volumen horario de máxima demanda, VHMD, y el flujo máximo, q_{max} , que se presenta durante un período dado dentro de dicha hora, matemáticamente se expresa como:

$$FHMD = VHMD / N(q_{m\acute{a}x}) \quad \text{Ecuación 3-4}$$

N: número de periodos durante la hora de máxima demanda (HMD)

q_{max} : flujo máximo (número de vehículos)

El FHMD es un indicador de las características del flujo de tránsito en periodos máximos. Indica cómo están distribuidos los flujos máximos dentro de la hora. Su mayor valor es la unidad (FHMD = 1), lo que significa que existe una distribución uniforme de flujos máximos durante toda la hora. Valores bastante menores que la unidad indican concentraciones de flujos máximos en períodos cortos dentro de la hora.

Variación horaria del volumen de tránsito.

Las variaciones de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día dependen del tipo de ruta y según las actividades que prevalezcan en ellas.

En zonas agrícolas durante la época de cosecha las variaciones horarias son extraordinarias, ya que durante la noche no puede haber ningún vehículo, mientras que en el día puede saturarse la vía, p.ej, una carretera de dos carriles. En las carreteras de tipo turístico, durante los fines de semanas pueden pasar volúmenes altos de vehículos, mientras que en los días entre semana existe un tránsito más o menos normal.

Variación por sentido.

En la mayoría de las vías urbanas y en algunas vías rurales hay grandes diferencias entre tránsito que circula en un sentido y el que va en sentido contrario en un momento determinado.

3.4. Estimación de los volúmenes futuros del tránsito

El propósito del volumen de tránsito futuro (TF), por ejemplo, el TPDA del año de proyecto, en el mejoramiento de una carretera o en su construcción, deberá basarse no solo en los volúmenes normales actuales, sino en los incrementos del tránsito que se espera utilice la nueva carretera.

Los TF, para efectos de proyecto, se derivan a partir del tránsito actual (TA) y del incremento de tránsito (IT), esperando al final del periodo o año meta seleccionado.

$$TF = TA + IT \quad \text{Ecuación 3-5}$$

Cabe mencionar que, una carretera nueva se proyecta para 20 años. Para reconstrucción y rehabilitación se proyecta para 10 años.

Tránsito actual (TA).

Es el volumen de tránsito que usará la carretera mejorada o la nueva carretera en el momento de quedar completamente en servicio.

En el mejoramiento de una carretera existente, el tránsito actual se descompone del tránsito existente (TE), antes de la mejora, más el tránsito atraído (TAt) a ella de otras carreteras una vez finalizada su construcción total. El TA se puede establecer a partir de aforos vehiculares sobre las vialidades de la región que influyan en la nueva carretera, estudios de origen y destino, o utilizando parámetros socioeconómicos que se identifiquen plenamente con la economía de la zona. De manera que el TA, se expresa como:

$$TA = TE + TAt; \text{ para carreteras existentes (mejoramiento)} \quad \text{Ecuación 3-6}$$

$$TA = TAt; \text{ para carreteras nuevas} \quad \text{Ecuación 3-7}$$

3.5. Procesamiento de datos del aforo

En este acápite se presenta la memoria de cálculo del estudio de tránsito realizado para el proyecto vial, el cual inicia con la realización de aforos vehiculares, los cuales tuvieron una duración de 12 horas consecutivas (6:00 AM-6:00PM), durante los días: 21, 23 y 25 (martes, jueves y sábado) de julio de 2015, respectivamente. Cabe mencionar que se hicieron solamente tres días de aforo, pero se cumple con lo que especifica la teoría como cantidad mínima de días de aforos en un determinado lugar. Es una calle de dos carriles, uno por sentido de circulación.

La tablas 3-1, 3-2, 3-3 y 3-4, presentan el tránsito diario y tránsito promedio diario (TPD), generado para ambos sentidos de circulación (vehículos mixtos), durante las 12 horas de conteo vehicular; en base a esta tabla se presenta la gráfica 3-1 de “volumen horario Vs tiempo” para el TPD registrado, donde se puede observar claramente la distribución del tránsito, según su clasificación (tipo de vehículo). También en dicha gráfica se puede observar (en rojo) la hora donde se registró el mayor volumen de tránsito durante el día, con lo cual es posible determinar el volumen horario de máxima demanda (VHMD) y el factor horario de máxima demanda (FHMD).

En la gráfica 3-5, se puede apreciar la composición del tráfico vehicular por sentido de circulación donde para determinar las cantidades de vehículos mixtos se usó el factor de distribución direccional que presentó el comportamiento vehicular en la zona, y a su vez en la tabla 3-6, se presenta el promedio total de vehículos que circulan en la vía aplicando en factor de distribución direccional que se determinó en la tabla anterior; además en la gráfica 3-2 se puede observar el comportamiento en porcentaje de la cantidad de vehículos registrados por tipo (moto, automóviles, camionetas, jeep, microbús, otros, etc.) y clasificándolos en vehículos de pasajeros y de carga.

La tabla 3-7 contiene el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) del tramo de calle. En dicha tabla se observan los factores de expansión, que dicho sea de paso fueron referenciados con el estudio de tránsito realizado por el MTI en 2014 (anuario de aforo vehicular 2014). No obstante, la aplicación de estos factores para la determinación del TPDA, fue precedido por una serie de asesoramiento de la alcaldía de Managua y por el área de planificación del ministerio de transporte e infraestructura (MTI), ya que no se podían utilizar directamente por la función del tramo de vía en estudio y el tramo donde se realizan los aforos del MTI, en su mayoría, son alejados totalmente de los poblados.

Es importante puntar que en la tabla se presenta el TPDA por tipo de vehículo y posteriormente de acuerdo a su clasificación (livianos, pesados y otros), expresado en porcentaje.

Seguidamente se procedió a determinar la tasa de crecimiento vehicular usando como referencia el asesoramiento del MTI donde fue orientado usar los datos de la estación permanente de mayor cobertura que abarca la estación de control sumaria más cercana al sitio del proyecto, por razones de que no se encontró datos anteriores y suficientes para la determinación más exacta de dicha tasa de crecimiento y los datos del crecimiento del parque vehicular del municipio no son muy confiables.

Finalmente, se proyecta el tráfico promedio diario anual a 20 años (periodo de diseño de la vía), de acuerdo al tipo de estructura vial. Una vez calculado el flujo de máxima demanda actual, se determinó el nivel de servicio proyectado a 20 años. También se presenta una evaluación o consolidado, de lo que hasta el momento se ha determinado respecto al nivel de servicio de la calle, las características generales de la vía y del tráfico. Una vez proyectado el tránsito actual se evalúa la capacidad del tramo de vía, considerando una serie de parámetros como son: relación volumen capacidad, factor de distribución direccional, factor de ajuste por ancho de carril y factor de vehículos pesados. Una vez determinado dichos parámetros a través de tablas sujetas a normas, se calcula los diferentes niveles de servicio, y se compara con el nivel de servicio proyectado, y así conocer el nivel de servicio al que estará operando el tramo en el futuro.

Sin embargo, considerando que los tramos viales están en mal estado, el procedimiento mencionado en el párrafo anterior solamente hace una supuesta

referencia a que el proyecto está en el año cero de su vida útil (empezando su periodo de operación), es decir se consideran los cálculos para una vía en perfectas condiciones.

En estos tramos viales considerados como de tránsito comercial, circulan en mayor proporción los vehículos livianos a como se muestra en todas las tablas con los resultados de los aforos de tránsito realizados; sin embargo, los vehículos clasificados como C2 y C3 representan el factor más importante a considerar en este estudio de tránsito para el propio diseño estructural, por esta razón se considera como vehículo de diseño el tipo C3.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 3-2. Resultados del aforo (día 1)

Tránsito Diario (TD)-Dos tramos de vía en el municipio de El Tortuguero, RACCS. Aforo 1											
Hora del día	Vehículos de pasajeros						Vehículos de carga			Otros	Total
	Motos	Automóviles	Jeep	Camionetas	Microbus	Bus	Liv. De C.	C-2	C-3		
06:00-06:15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
06:15-06:30	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4
06:30-06:45	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
06:45-07:00	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8
07:00-07:15	6	0	0	1	0	0	2	0	0	1	10
07:15-07:30	5	0	0	0	0	0	0	1	0	2	8
07:30-07:45	9	0	0	0	0	0	2	1	0	1	13
07:45-08:00	3	0	0	0	1	0	0	0	0	2	6
08:00-08:15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9
08:15-08:30	7	0	0	0	1	0	0	1	0	1	10
08:30-08:45	6	0	0	0	0	0	1	1	0	0	8
08:45-09:00	8	0	0	0	0	0	2	0	0	2	12
09:00-09:15	6	0	0	0	0	0	0	1	0	1	8
09:15-09:30	3	0	0	3	0	0	0	2	0	1	9
09:30-09:45	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8
09:45-10:00	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	7
10:00-10:15	22	0	1	0	0	1	0	1	0	1	26
10:15-10:30	14	0	1	0	0	0	2	1	0	1	19
10:30-10:45	14	0	1	1	0	0	1	1	0	0	18
10:45-11:00	27	1	0	1	0	0	0	0	0	1	30
11:00-11:15	22	0	1	1	0	0	1	2	0	2	29
11:15-11:30	24	0	0	2	0	2	0	4	0	1	33
11:30-11:45	27	0	0	3	0	0	0	2	0	2	34
11:45-12:00	29	1	0	5	0	0	2	2	0	1	40
12:00-12:15	37	0	0	0	0	0	0	0	0	1	38
12:15-12:30	29	0	0	0	0	0	0	0	1	2	32
12:30-12:45	39	0	0	3	0	0	1	0	1	3	47
12:45-01:00	38	0	0	6	0	0	3	0	1	5	53
01:00-01:15	50	0	0	4	0	0	2	1	2	2	61
01:15-01:30	40	0	0	2	0	0	0	2	0	3	47
01:30-01:45	30	0	0	2	0	0	0	0	0	1	33
01:45-02:00	26	0	0	1	0	0	0	0	2	1	30
02:00-02:15	40	0	0	9	0	0	0	1	0	2	52
02:15-02:30	39	0	0	1	0	0	1	1	0	0	42
02:30-02:45	35	0	0	4	0	0	0	1	0	1	41
02:45-03:00	43	0	0	1	0	0	0	1	0	3	48
03:00-03:15	37	0	0	0	0	0	3	1	0	1	42
03:15-03:30	28	0	0	0	0	0	1	1	0	2	32
03:30-03:45	28	0	0	3	0	1	0	0	0	1	33
03:45-04:00	25	0	0	3	0	0	0	2	0	0	30
04:00-04:15	40	0	0	1	0	0	2	0	0	3	46
04:15-04:30	35	0	0	0	0	0	0	0	0	4	39
04:30-04:45	43	0	0	3	0	0	3	1	1	3	54
04:45-05:00	39	0	1	2	0	0	1	1	0	2	46
05:00-05:15	38	0	0	2	1	0	2	3	0	3	49
05:15-05:30	41	0	0	1	0	0	0	4	0	2	48
05:30-05:45	42	0	3	2	0	0	0	0	0	4	51
05:45-06:00	40	0	3	1	1	0	2	0	0	3	50
Suma	1147	2	12	69	4	4	34	42	8	75	1397

Fuente: *Elaboración Propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 3-3. Resultados del aforo (día 2)

Tránsito Diario (TD)-dos tramos de vía en el municipio de El Tortuguero, RACCS. Aforo 2											
Hora del día	Vehículos de pasajeros						Vehículos de carga			Otros	Total
	Motos	Automóviles	Jeep	Camionetas	Microbus	Bus	Liv. De C.	C-2	C-3		
06:00-06:15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06:15-06:30	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
06:30-06:45	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
06:45-07:00	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	5
07:00-07:15	8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	10
07:15-07:30	10	0	0	1	0	0	0	3	0	2	16
07:30-07:45	17	0	0	1	0	0	0	0	1	0	19
07:45-08:00	19	0	0	1	0	0	0	0	0	3	23
08:00-08:15	14	0	0	3	0	0	0	0	0	0	17
08:15-08:30	8	0	0	4	0	0	0	0	0	1	13
08:30-08:45	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
08:45-09:00	24	0	0	1	0	0	0	0	0	1	26
09:00-09:15	16	0	0	2	0	0	0	2	0	2	22
09:15-09:30	17	0	0	1	0	0	0	1	0	0	19
09:30-09:45	21	0	0	0	0	0	0	2	0	1	24
09:45-10:00	18	0	0	1	0	2	0	0	0	0	21
10:00-10:15	18	0	0	1	0	0	0	0	0	1	20
10:15-10:30	18	0	0	4	0	0	0	0	0	1	23
10:30-10:45	25	0	0	3	0	0	1	1	0	2	32
10:45-11:00	25	0	0	1	0	0	1	3	0	0	30
11:00-11:15	22	0	0	0	0	0	0	0	0	3	25
11:15-11:30	8	0	0	1	0	2	0	0	0	1	12
11:30-11:45	13	0	0	2	0	0	0	0	0	2	17
11:45-12:00	20	0	0	4	0	0	0	2	1	1	28
12:00-12:15	28	0	0	0	0	0	0	2	0	1	31
12:15-12:30	18	0	0	3	0	0	0	0	0	2	23
12:30-12:45	15	0	0	5	0	0	0	0	0	2	22
12:45-01:00	23	0	0	1	0	0	0	0	0	3	27
01:00-01:15	31	0	1	0	0	0	0	1	0	1	34
01:15-01:30	28	0	1	5	0	0	0	1	0	0	35
01:30-01:45	22	0	0	0	0	0	0	0	1	1	24
01:45-02:00	21	0	0	0	0	0	0	0	0	1	22
02:00-02:15	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
02:15-02:30	14	0	0	2	0	0	0	0	0	2	18
02:30-02:45	11	0	0	3	0	0	0	0	0	0	14
02:45-03:00	15	0	0	6	0	0	0	1	0	1	23
03:00-03:15	15	0	0	1	0	0	0	2	0	0	18
03:15-03:30	34	0	0	4	0	2	0	2	0	1	43
03:30-03:45	27	0	0	3	0	0	0	1	0	2	33
03:45-04:00	11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	12
04:00-04:15	25	0	0	3	0	0	0	0	0	0	28
04:15-04:30	29	0	1	1	0	0	0	1	0	1	33
04:30-04:45	31	0	1	3	0	0	0	0	0	0	35
04:45-05:00	24	0	0	4	0	0	0	0	0	1	29
05:00-05:15	13	0	0	0	0	0	2	0	0	0	15
05:15-05:30	22	0	0	3	0	0	0	0	0	1	26
05:30-05:45	25	0	0	2	0	0	0	2	0	1	30
05:45-06:00	24	0	0	1	0	0	0	1	0	0	26
Suma	879	0	4	84	0	6	4	29	3	45	1054

Fuente: *Elaboración Propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 3-4. Resultados del aforo (día 3)

Tránsito Diario (TD)-Dos tramos de vía en el municipio de El Tortuguero, RACCS. Aforo 3											
Hora del día	Vehículos de pasajeros						Vehículos de carga			Otros	Total
	Motos	Automóviles	Jeep	Camionetas	Microbus	Bus	Liv. De C.	C-2	C-3		
06:00-06:15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06:15-06:30	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
06:30-06:45	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
06:45-07:00	8	0	0	0	0	2	0	1	0	1	12
07:00-07:15	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
07:15-07:30	9	0	0	0	0	2	0	0	0	1	12
07:30-07:45	9	0	0	1	0	0	0	0	0	2	12
07:45-08:00	8	0	0	2	0	0	1	0	0	0	11
08:00-08:15	8	0	0	2	0	0	0	0	0	2	12
08:15-08:30	12	0	0	1	0	0	1	0	0	1	15
08:30-08:45	15	0	0	1	0	0	0	1	0	1	18
08:45-09:00	16	0	0	0	0	0	0	0	0	2	18
09:00-09:15	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
09:15-09:30	19	0	0	0	0	0	0	0	0	1	20
09:30-09:45	9	0	0	3	0	0	1	0	0	1	14
09:45-10:00	23	0	0	4	0	0	1	0	0	0	28
10:00-10:15	23	0	0	1	0	0	0	1	0	2	27
10:15-10:30	21	0	0	3	0	0	0	0	0	1	25
10:30-10:45	21	0	0	1	0	0	0	1	0	1	24
10:45-11:00	11	0	0	1	0	0	0	0	0	2	14
11:00-11:15	14	0	2	3	0	0	0	0	0	2	21
11:15-11:30	11	0	0	2	0	0	0	1	1	0	15
11:30-11:45	17	0	0	2	0	0	0	0	0	2	21
11:45-12:00	22	0	0	3	0	2	0	0	1	0	28
12:00-12:15	21	0	2	6	0	0	0	0	0	1	30
12:15-12:30	10	0	2	4	0	0	1	1	0	0	18
12:30-12:45	16	0	0	0	0	0	0	2	0	1	19
12:45-01:00	20	0	0	4	0	0	0	1	0	0	25
01:00-01:15	12	0	0	1	0	1	1	0	2	0	17
01:15-01:30	19	0	0	4	0	1	0	0	0	1	25
01:30-01:45	9	0	0	2	0	0	0	2	0	0	13
01:45-02:00	16	0	0	3	0	0	0	0	0	2	21
02:00-02:15	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
02:15-02:30	15	0	1	2	0	0	2	0	0	0	20
02:30-02:45	11	0	0	3	0	0	2	0	0	3	19
02:45-03:00	11	0	0	3	0	0	0	1	0	0	15
03:00-03:15	8	0	0	1	0	0	0	0	0	1	10
03:15-03:30	12	0	0	2	0	0	0	1	0	1	16
03:30-03:45	9	0	0	2	0	0	0	1	0	0	12
03:45-04:00	12	0	0	2	0	0	0	1	0	1	16
04:00-04:15	13	0	0	0	0	0	0	0	0	2	15
04:15-04:30	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	7
04:30-04:45	10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	11
04:45-05:00	7	0	0	3	0	0	0	0	0	1	11
05:00-05:15	19	0	0	5	0	0	0	2	0	0	26
05:15-05:30	17	0	0	2	0	0	0	0	0	1	20
05:30-05:45	20	0	0	4	0	2	0	1	0	0	27
05:45-06:00	15	0	0	5	0	0	0	0	0	0	20
Suma	631	0	7	91	0	10	10	19	4	38	810

Fuente: Elaboración Propia. (2016).

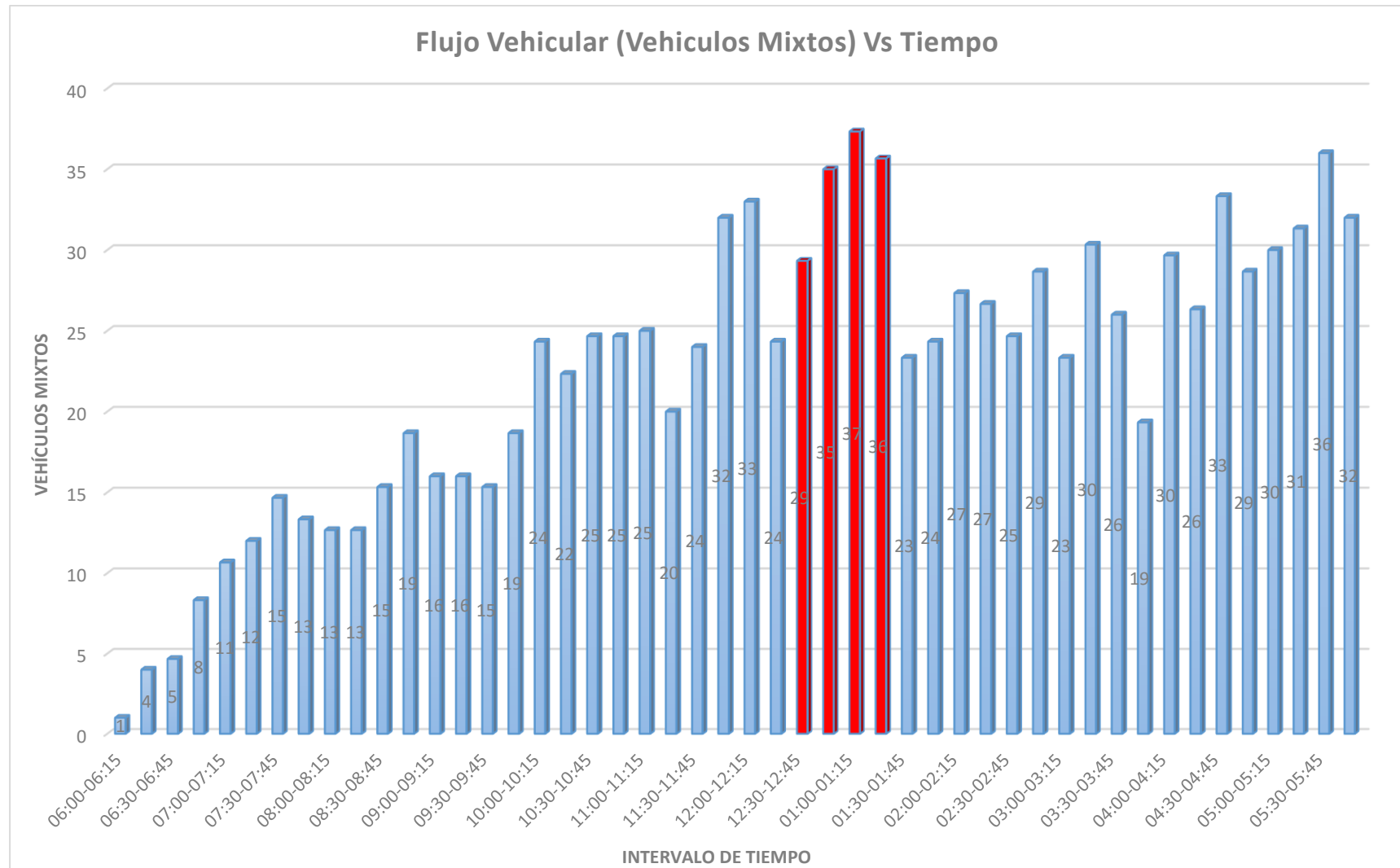
Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 3-5. Tránsito Promedio Diario (TPD)

Tránsito Promedio Diario (TPD)-Dos tramos de vía en el municipio de El Tortuguero, RACCS.											
Hora del día	Vehículos de pasajeros						Vehículos de carga			Otros	Total
	Motos	Automóviles	Jeep	Camionetas	Microbus	Bus	Liv. De C.	C-2	C-3		
06:00-06:15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06:15-06:30	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
06:30-06:45	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
06:45-07:00	6	0	0	1	0	1	0	0	0	1	8
07:00-07:15	9	0	0	0	0	0	1	0	0	1	11
07:15-07:30	8	0	0	0	0	1	0	1	0	2	12
07:30-07:45	12	0	0	1	0	0	1	0	0	1	15
07:45-08:00	10	0	0	1	0	0	0	0	0	2	13
08:00-08:15	10	0	0	2	0	0	0	0	0	1	13
08:15-08:30	9	0	0	2	0	0	0	0	0	1	13
08:30-08:45	14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	15
08:45-09:00	16	0	0	0	0	0	1	0	0	2	19
09:00-09:15	13	0	0	1	0	0	0	1	0	1	16
09:15-09:30	13	0	0	1	0	0	0	1	0	1	16
09:30-09:45	12	0	0	1	0	0	0	1	0	1	15
09:45-10:00	16	0	0	2	0	1	0	0	0	0	19
10:00-10:15	21	0	0	1	0	0	0	1	0	1	24
10:15-10:30	18	0	0	2	0	0	1	0	0	1	22
10:30-10:45	20	0	0	2	0	0	1	1	0	1	25
10:45-11:00	21	0	0	1	0	0	0	1	0	1	25
11:00-11:15	19	0	1	1	0	0	0	1	0	2	25
11:15-11:30	14	0	0	2	0	1	0	2	0	1	20
11:30-11:45	19	0	0	2	0	0	0	1	0	2	24
11:45-12:00	24	0	0	4	0	1	1	1	1	1	32
12:00-12:15	29	0	1	2	0	0	0	1	0	1	33
12:15-12:30	19	0	1	2	0	0	0	0	0	1	24
12:30-12:45	23	0	0	3	0	0	0	1	0	2	29
12:45-01:00	27	0	0	4	0	0	1	0	0	3	35
01:00-01:15	31	0	0	2	0	0	1	1	1	1	37
01:15-01:30	29	0	0	4	0	0	0	1	0	1	36
01:30-01:45	20	0	0	1	0	0	0	1	0	1	23
01:45-02:00	21	0	0	1	0	0	0	0	1	1	24
02:00-02:15	23	0	0	3	0	0	0	0	0	1	27
02:15-02:30	23	0	0	2	0	0	1	0	0	1	27
02:30-02:45	19	0	0	3	0	0	1	0	0	1	25
02:45-03:00	23	0	0	3	0	0	0	1	0	1	29
03:00-03:15	20	0	0	1	0	0	1	1	0	1	23
03:15-03:30	25	0	0	2	0	1	0	1	0	1	30
03:30-03:45	21	0	0	3	0	0	0	1	0	1	26
03:45-04:00	16	0	0	2	0	0	0	1	0	1	19
04:00-04:15	26	0	0	1	0	0	1	0	0	2	30
04:15-04:30	23	0	0	1	0	0	0	0	0	2	26
04:30-04:45	28	0	0	2	0	0	1	1	0	1	33
04:45-05:00	23	0	0	3	0	0	0	0	0	1	29
05:00-05:15	23	0	0	2	0	0	1	2	0	1	30
05:15-05:30	27	0	0	2	0	0	0	1	0	1	31
05:30-05:45	29	0	1	3	0	1	0	1	0	2	36
05:45-06:00	26	0	1	2	0	0	1	0	0	1	32
Suma	886	1	8	81	1	7	16	30	5	53	1087

Fuente: *Elaboración Propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.



Grafica 3-1. Representación del flujo vehicular

Fuente: *Elaboración propia. (2016).*

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 3-6. Factor direccional de la corriente de tránsito

Determinacion del factor direccional de la corriente de tránsito de los dos tramos viales. "El Tortuguero, RACCS".																					
Tipo de vehículo	Vehículos de pasajero												Vehículos de carga						OTROS	Vehiculos mixtos	
	MOTOS		AUTOMÓVILES		JEEP		CAMIONETAS		MICROBUS		BUS		LIV. DE		C-2		C-3				
Sentido	N-S	S-N	N-S	S-N	N-S	S-N	N-S	S-N	N-S	S-N	N-S	S-N	N-S	S-N	N-S	S-N	N-S	S-N	N-S	S-N	
Aforo 1	569	578	1	1	8	4	36	33	2	2	2	2	19	15	19	23	5	3	35	40	1397
Aforo 2	428	451	0	0	3	1	38	46	0	0	3	3	2	2	14	15	1	2	22	23	1054
Aforo 3	295	337	0	0	3	4	41	50	0	0	5	5	7	3	8	11	2	2	21	17	811
Sub-Total	1292	1366	1	1	14	9	115	129	2	2	10	10	28	20	41	49	8	7	78	80	3262
Total	3262 Vehiculos mixtos durante los tres días de aforo																				
Cantidad de vehículos en el sentido N-S: 1589 vehículos; 49%																					
Cantidad de vehículos en el sentido S-N: 1673 vehículos; 51%																					

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

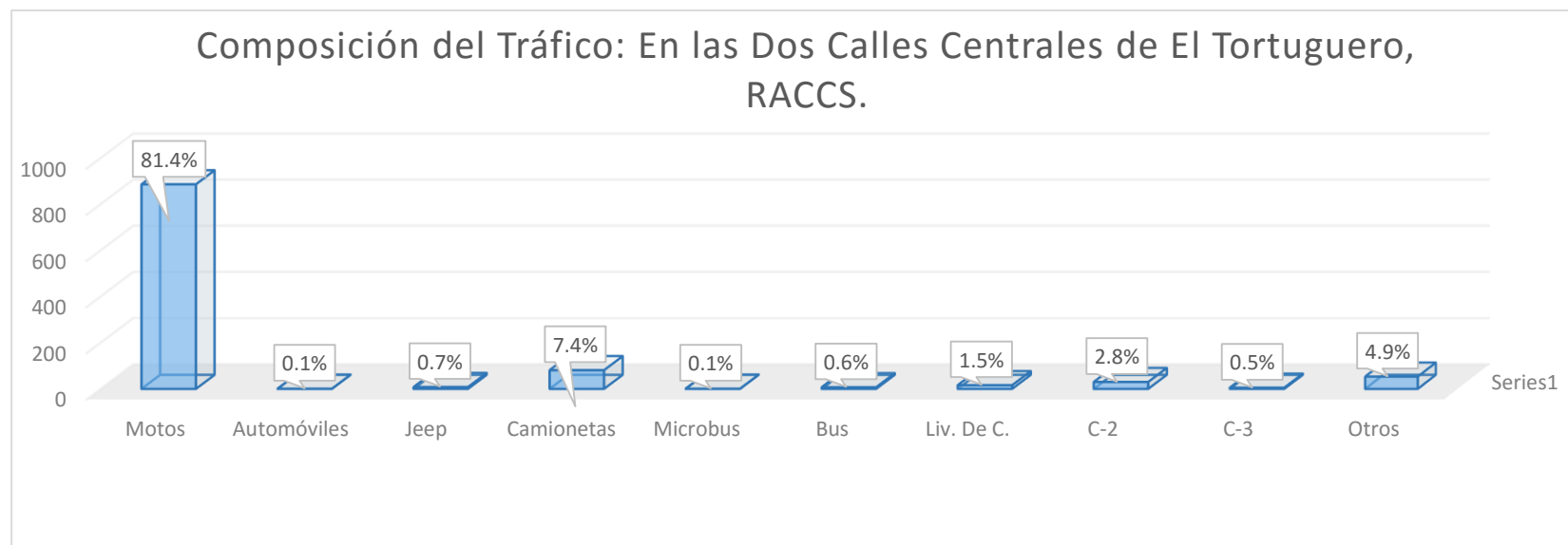
En base al cálculo del porcentaje por sentido de circulación de los dos tramos viales en el municipio de El Tortuguero, RACCS, se definió que el factor de distribución direccional es de 0.51, correspondiente al mayor porcentaje registrado en el sentido de Sur a Norte.

Tabla 3-7. Promedio total de vehículos diarios

Promedio Total de Vehículos Diarios que Circula en la Calle Central-El Tortuguero, RACCS.										
Tramo: Calle Central El Tortuguero, RACCS	Vehículos de pasajeros						Vehículos de carga			Otros
	Motos	Automóviles	Jeep	Camionetas	Microbus	Bus	Liv. De C.	C-2	C-3	
TPD (ambos sentidos)	886	1	8	81	1	7	16	30	5	53
Factor de Distribución Direccional	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
TPD (Por Sentido de Circulación)	452	1	4	41	1	4	8	15	3	27

Fuente: *Elaboración Propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.



Grafica 3-2. Distribución del tránsito. Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla 3-8. Determinación del tráfico (expandido a 24 horas)

Tramo: Calle Central-El Tortuguero, RACCS. Días aforados: 3. Mes: Septiembre											
Grupos	Vehículos de pasajeros						Vehículos de carga			Otros	Total
	Motos	Automóviles	Jeep	Camionetas	Microbus	Bus	Liv. De C.	C-2	C-3		
TP(D)	886	1	8	81	1	7	16	30	5	53	1088
Factor Dia	1.35	1.33	1.35	1.38	1.28	1.38	1.44	1.78	1.68	1.51	
Factor Semana	0.98	0.98	0.98	0.92	0.95	0.98	0.92	0.90	0.89	1.04	
Factor Expansión	0.93	1.17	1.04	0.99	0.90	1.05	1.05	1.00	1.04	0.99	
TPDA Sep-Dic	1090	2	11	102	1	10	22	48	8	82	1376
%TPDA	79.2	0.1	0.8	7.4	0.1	0.7	1.6	3.5	0.6	6.0	100.0
Clasificación	% Vehículos Livianos:					90.0	% Vehículos Pesados:			4.1	6.0

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Volumen de máxima de manda durante el día es de (VHMD) = 137 vehículo/ hora

Factor horario de máxima demanda es de = FHDM = VHDM/N (qmax)

$$FHDM = \frac{(137)}{(4)(37)} = 0.93$$

$$VHMD = 29+35+37+36 = 137 \text{ Veh/hora}$$

Obteniéndose el flujo máximo (qmax) en el periodo de 15 minuto desde las 01:00 a 01:15 con un valor de 37 vehículos mixtos.

$$\text{En este caso el } FHDM = \frac{(137)}{(4)(37)} = 0.93$$

$$\text{El de flujo actual será de } Fs. = \frac{(VHMD)}{(FHDM)} = \frac{(137)}{(0.93)} = 148 \text{ Veh. Mix/hora}$$

El valor de 0.93 indica que la frecuencia de paso vehicular es mucho más alto que en el resto de los periodos; además, al acercarse a la unidad significa que, en esa hora de máxima demanda, los flujos vehiculares de cada 15 minutos son casi iguales.

Proyección del tráfico promedio diario anual, a 20 años, considerando la vida útil para este tipo de estructura vial. Se considera esta cantidad de años como vida útil para este proyecto por razones de que los tramos que se construyeron y, que aún existen, no se le hizo absolutamente ningún estudio de ingeniería previo; o sea, se considera como que es una construcción nueva.

$$TPDA_n = TPDA(1 + i)^n$$

$$TPDA_{20} = 1376 * (1 + 0.05)^{20} = 3651 \text{ veh/año}$$

Nivel de servicio de la calle

Basándose en lo expresado en el Highway Capacity Manual (HCM, 2000), el nivel de servicio de la vía queda determinado por:

Características de la vía:

Velocidad de proyecto	30 KPH
Terreno	Plano
Distribución direccional	49/51 (usar 50/50)
Ancho de carril	3.0

Características del tráfico

VHMD	137 Veh/h
FHMD	0.93

Composición del tráfico

Livianos	90.0%
Pesados	4.1%

Se utilizaran las tablas A-3-1, A-3-2, A-3-3 y A-3-4 de anexos para calcular:

a. *Determinación de la relación volumen/capacidad (v/c)* (Ver tabla anexa A-3-1)

$(v/c)_A = 0.09$	$(v/c)_C = 0.36$	$(v/c)_E = 1.0$
$(v/c)_B = 0.21$	$(v/c)_D = 0.60$	

b. *Factor de distribución direccional (f_d)* (Ver tabla anexa A-3-2)

$f_d (50/50) = 1.0$	Valor más próximo a (49/51)
---------------------	-----------------------------

c. *Factor de ajuste por ancho de carril (f_w)* (Ver tabla A-3-3)

Se trabajó con los valores más próximos a 3.0 metros, es decir con los valores correspondientes al ancho de carril de 3.05 metros (sin hombro a ambos lados); por tanto:

$$F_w (A-D) = 0.58$$

$$F_w (E) = 0.75$$

d. *Factor de vehículos pesados (f_{hv})* (Ver tabla A-3-4)

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + PT(ET - 1) + PB(EB - 1) + PR(ER - 1)}$$

Porcentaje de camiones: PT= 0.041

Porcentaje de autobuses: PB= 0.007

Porcentaje de vehículos recreativos: PR= 0.0

Por tanto la ecuación se reduce a: $f_{hv} = \frac{1}{1 + PT(ET - 1) + PB(EB - 1)}$

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

$$ET_A = 2.00$$

$$EB_A = 1.80$$

$$ET_{B-C} = 2.20$$

$$EB_{B-C} = 2.00$$

$$ET_{D-E} = 2.00$$

$$EB_{D-E} = 1.60$$

Utilizando la ecuación modificada para f_{hv} se obtienen:

$$f_{hv}(A) = \frac{1}{1 + 0.041(2.0 - 1) + 0.007(1.8 - 1)} = 0.955$$

$$f_{hv}(B - C) = \frac{1}{1 + 0.041(2.2 - 1) + 0.007(2.0 - 1)} = 0.947$$

$$f_{hv}(D - E) = \frac{1}{1 + 0.041(2.0 - 1) + 0.007(1.6 - 1)} = 0.957$$

e. Nivel de servicio (SF)

El flujo de servicio (SF) para terreno plano está dado por:

$$SF = 2800(v/c)(f_d)(f_w)(f_{hv})$$

$$SF_A = 2800 * 0.090 * 1.0 * 0.58 * 0.955 = 140 \text{ Veh/h}$$

$$SF_B = 2800 * 0.21 * 1.0 * 0.58 * 0.947 = 323 \text{ Veh/h}$$

$$SF_C = 2800 * 0.36 * 1.0 * 0.58 * 0.947 = 554 \text{ Veh/h}$$

$$SF_D = 2800 * 0.60 * 1.0 * 0.58 * 0.957 = 933 \text{ Veh/h}$$

$$SF_E = 2800 * 1.0 * 1.0 * 0.75 * 0.957 = 2010 \text{ Veh/h}$$

Flujo de máxima demanda actual:

$$FS = \frac{VHMD}{FHMD} * fc = 148 * fc \text{ Veh/h}$$

$$FS = 148 * 0.51 = 76 \text{ Veh/h Por sentido de circulación.}$$

Verificando por comparación:

$$FS < SF_B$$

$$148 \text{ Veh/h} > 140 \text{ Veh/h};$$

Lo cual indica que los tramos viales diseñados estarán operando a principio de su vida útil, empezando el nivel de servicio B.

Nivel de servicio proyectado a 20 años (tasa de crecimiento veh. $i=0.05$)

$$FS_n = FS(1 + i)^n$$

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

$$FS_{20} = 148(1 + 0.05)^{20} = 393 \text{ Veh/h}$$

Al comparar: $393 \text{ Veh/h} < 554 \text{ Veh/h}$, lo cual indica que dentro de 20 años, el tramo de vía diseñado, estará operando a mitad del nivel de servicio C.

Por tanto, se puede concluir que los resultados de la proyección del tránsito presente encontrados con los diferentes factores utilizados, son confiables y se puede aplicar al proyecto “Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua”.

Capítulo 4 : Estudio de Suelo

Éste se realizó con el propósito de conocer los principales rasgos que caracterizan el suelo de dos tramos de calles en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, RACCS; dichos resultados son necesario para realizar el diseño de las estructuras de pavimento de estas vías. Además, se analizó el material del banco de préstamo más cercano, para un posible uso de éste en el mejoramiento del suelo. Todo lo anterior se efectuó mediante el análisis a través de pruebas de laboratorio realizadas a muestras de suelos obtenidas mediante sondeos manuales.

Los ensayos de laboratorio para el suelo a lo largo de la vía, se realizaron de acuerdo a las normas mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 4-1. *Ensayes de laboratorio realizados para el suelo de sitio*

Nº	Tipo de ensaye	Cantidad	Norma
1	Granulometría por Tamizado	24	ASTM-D422
2	Hidrometría	4	ASTM E-100
2	Límite Líquido	24	ASTM-D423
3	Límite Plástico	24	ASTM-D424
4	Gravedad Específica	24	AASHTO T 93-86
5	Clasificación de suelos	24	AASHTO
6	Proctor Estándar	4	ASTM D 698-07
7	Método GEOGAUGE y Valor Impacto Clegg para (CBR)	4	ASTM D 6758 ASTM D 5874
8	Diseño de mezcla de suelo-cemento.	3	ASTM T-134
	Total	135	

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Mientras que los ensayos para el material del banco de material selecto, se realizaron de acuerdo a las normas siguientes:

Tabla 4-2. *Ensayes de laboratorio realizados a material de banco*

Nº	Tipo de ensaye	Cantidad	Norma
1	Granulometría por Tamizado	1	ASTM C 136
2	Contenido de Humedad	1	ASTM C 566
4	Proctor Estándar	1	ASTM D 698-07
5	Valor Impacto de Clegg (CBR)	1	ASTM D 5874
	Total	6	

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

El total de pruebas de laboratorio que se realizaron fue de 135 en muestras alteradas obtenidas por medio de sondeos manuales en los dos tramos viales en el municipio de El Tortuguero, RACCS.

Es importante señalar que para la realización de la prueba del CBR se utilizó el GEOGAUGE y el martillo de impacto de CLEGG, que son para mediciones de rigidez del terreno in-situ (principalmente), ya que el equipo estándar necesario para su correcta realización en el laboratorio se encontraba en mal estado y/o no estaba completo; sin embargo, las pruebas se realizaron usando la misma energía de compactación (90%, 95%, 100%), tal y como se realizan normalmente con el equipo estándar; y a su vez, se usó la humedad óptima y densidad seca máxima para la realización de la prueba.

4.1. Suelo

Se define en ingeniería como cualquier material no consolidado, compuesto de distintas partículas sólidas con gases o líquidos incluidos. El suelo contiene una amplia variedad de materiales, tales como: grava, arena, mezclas arcillosas, limos, etc. Existen dos problemas principales al analizar los suelos en la naturaleza: como se encuentran dichos suelos en el medio y como se transforman estos materiales naturales en nuevos materiales estructurales.

Ante estos se hace indispensable realizar pruebas de laboratorio que consisten en analizar muestras de suelo mediante procedimientos y mecanismos especiales. Existen dos grandes grupos de procedimientos o métodos para la exploración del subsuelo, son los llamados Método Directo y Métodos Indirectos; en el primero se encuentran los Pozos a Cielo Abierto o sondeos manuales, Perforación Tipo Auger, Perforación a Rotación y Perforación a Percusión; el segundo método hace referencia al uso de equipos especiales como el Geófono, Sismógrafos, etc.

4.2. Análisis Granulométrico (Método Mecánico)

El análisis granulométrico tiene por objeto determinar el tamaño nominal de las partículas o granos con el que está compuesto un suelo y fijar, en porcentaje de su peso total, la cantidad de granos de distintos tamaños que el mismo contiene. El procedimiento del ensaye consiste en tomar una muestra representativa de suelo de peso conocido, colocarlo en un juego de tamices ordenados de mayor a menor apertura y registrar los pesos retenidos parciales en cada tamiz. Sin embargo, debido a que el tamiz menor que se utiliza es el número 200 (malla #200 de 0.074 mm), el análisis mecánico está restringido a partículas mayores a ese tamaño; por lo tanto, si el suelo contiene demasiadas partículas menores a dicho tamaño en proporción de su peso retenido, se debe realizar el análisis granulométrico por hidrometría.

4.3. Límites de consistencia (Límites de Atterberg)

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla, por ejemplo al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

Esta prueba es la que normalmente se realiza cuando gran cantidad de material, de una muestra representativa de un suelo, pasa por la malla #200 de 0.074 mm. Consiste en determinar los límites de consistencia de dicho suelo, y los principales son: Límite de Contracción (LC), Límite Líquido (LL) y Límite Plástico (LP). El presente esquema representa de una forma más clara lo anteriormente dicho:

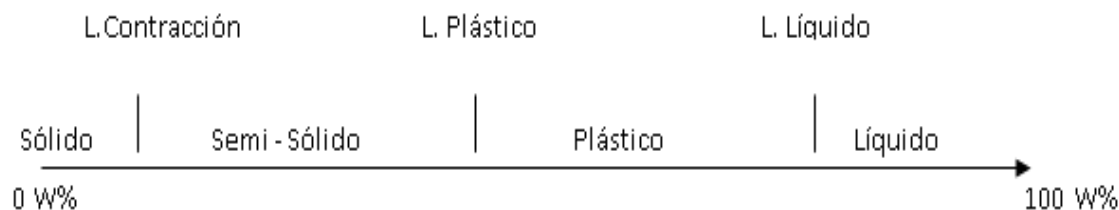


Figura 4-1. Límites de Atterberg.

Fuente: *Apuntes de ensayos básicos en estudio de suelos.* Jerez A.

Índice plástico o de plasticidad

Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico: **$IP=WL-WP$** . Representa o indica el rango de humedad en que el suelo se comporta plásticamente (Jerez. Cuanto mayor es el índice de plasticidad, tanto mayor es la plasticidad que el suelo posee. Además sirve también como una medida del grado de arcillosidad (da una idea). Valores alto de IP y WL indican que el suelo:

- 1) Tiene un alto % de arcilla y partículas de tamaño coloidal.
- 2) Son difíciles de compactar.
- 3) Su capacidad soporte en fundaciones y carreteras es pobre.
- 4) Es más susceptible a cambios de volumen con las fluctuaciones del contenido de humedad (material indeseable en fundaciones sobre todo en pavimentos).

Si el $IP > 17\%$, se dice que el suelo es altamente arcilloso y se clasifica como ARCILLA.

Si el $7\% < IP < 17\%$ (plasticidad media y se clasifica como LIMO-ARCILLOSO).

Si $1\% < IP < 7\%$, se dice que es un suelo de baja plasticidad y se clasifica como LIMO.

Sin embargo, esta clasificación puede no concordar con la clasificación granulométrica debido a que su plasticidad puede elevarse o disminuirse en dependencia de muchos factores, entre ellos, la composición mineral de sus partes más finas, decir partículas menores a 0.002 mm.

4.4. Clasificación de los suelos

Consiste en agrupar a los suelos que presenten casi la misma característica de granulometría y consistencia. Los dos principales y más comunes métodos de clasificación de suelos son: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

El primero de estos sistemas de clasificación es ampliamente usado en lo que es la ingeniería de vías, y busca principalmente juzgar la aceptabilidad de un suelo para hacer usado como material de sub-base y base en un pavimento, basándose en la medición numérica de la calidad del suelo, determinado el Índice de grupo (IG); mientras que el segundo sistema para clasificar suelos que serán utilizados en obras verticales. Es importante señalar que en este trabajo se utiliza el primer sistema de clasificación (AASHTO), por tratarse de una obra meramente horizontal.

Para la clasificación de un suelo se necesita de la siguiente información: tabla de clasificación de suelos de la AASHTO, porcentaje de suelo que pasa en los tamices #200, #40 y #10, Limite Líquido y Limite Plástico, Índice de Plasticidad e Índice de Grupo. Asimismo, este sistema plantea que si el porcentaje de suelo que pasa por el tamiz #200 es igual o menor al 35% es un suelo fino, de lo contrario es un suelo granular.

4.5. Compactación de suelos

Al proceso mecánico de comprimir el suelo para reducir los vacíos, aumentar la capacidad de soporte, impermeabilizar el suelo, reducir su volumen y aumentar su densidad se le llama compactación de suelos.

La Prueba Proctor Standard.

- Este ensayo se encuentra estandarizado por la ASTM D-698.
- Los parámetros que se obtienen de este ensayo son el peso unitario seco máximo y el contenido de humedad óptimo.

La compactación es la densificación del suelo debido a la eliminación del aire por medio de energía mecánica para así obtener del suelo mayor resistencia, menor deformación y permeabilidad. El grado de compactación se mide en términos del peso unitario seco del suelo. Al compactar se añade agua, el peso unitario seco que se obtiene de la compactación viene dado por el contenido de humedad óptimo que es diferente para cada tipo de suelo.

El ensaye Proctor Estándar se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad.

4.5.1. Factores que afectan la compactación de los suelos.

a. Contenido de Humedad

El control del contenido de humedad del suelo o de la base durante la compactación, es crítico para poder lograr la máxima densidad. Cuando se está compactando, se debe tener el contenido óptimo de humedad; es decir, ni demasiado ni muy poco. Se necesita la cantidad correcta de agua, para que las partículas, de suelo o de agregado, se deslicen contra las otras.

El agua, en efecto, actúa como un lubricante. Si hay mucha agua en el suelo, ésta ocupará espacio entre las partículas y evitará que permanezcan juntas. El agua mejora la unión entre las partículas de arcilla, que es lo que da cohesión a diversos materiales, sin embargo el exceso puede ser fatal puesto que produce el efecto de licuefacción siendo desfavorable para cualquier tipo de construcción.

b. Energía de compactación

Se refiere al método que se utiliza con una máquina de compactación a fin de aplicar energía mecánica en el suelo. Los compactadores se diseñan para utilizar una o varias de las formas siguientes de energía de compactación:

- Peso estático.
- Acción de amasamiento.
- Percusión.
- Vibración

c. Tipo de suelo

Esto se refiere al tipo de granulometría que posea el suelo: se considera que un suelo está bien granulado si contiene una distribución buena y uniforme de tamaños de partículas. Cuanto menos espacio vacío exista entre las partículas, mejor grado de compactación tendrá el mismo.

4.6. Valor Relativo Soporte (CBR)

El valor relativo soporte o índice C.B.R es el parámetro de resistencia normalmente utilizado para el diseño de espesores de pavimento de una carretera. Se define como la relación en porcentaje entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm (0.1

pulgada) y la presión para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptado como patrón, que es una piedra triturada.

En la práctica la determinación del C.B.R. empieza por obtener la humedad óptima y densidad máxima que se pueda lograr con el material de acuerdo con el método de interés. Después se preparan tres muestras con dicha humedad y se compactan con tres esfuerzos de compactación diferentes (por ejemplo 90, 95 y 100%). Cada una de estas muestras se deja saturar completamente sumergida en agua durante cuatro días, con una sobrecarga aproximadamente igual al peso del pavimento y finalmente se someten al ensayo de penetración. Con los datos obtenidos se obtienen valores de C.B.R. en función de la densidad que interpolando se determina el C.B.R. correspondiente a la densidad que se va exigir en el proyecto. C.B.R. para:

- Sub-base: 25% - 80%
- Base: 80% o más.
- Sub-rasante: No menor del 10%

El C.B.R. de diseño depende del tránsito:

Tabla 4-3. C.B.R. de diseño según tipo de tránsito

Tránsito	N° de ejes equivalentes de 1800 lb	C.B.R. en percentil
Liviano	$< 10^4$	60%
Medio	$10^4 - 10^6$	75%
Pesado	$> 10^6$	87%

Fuente: *Highway Capacity Manual*, HCM. (1994).

Tabla 4-4. Relación esfuerzo-penetración

Relación Esfuerzo-Penetración para la muestra patrón	
Penetración en pulgadas	Esfuerzo lb/plg ²
0.1	1,000
0.2	1,500
0.3	1,900
0.4	2,300
0.5	2,600

Fuente: Crespo Villalaz, C. (2008). *Mecánica de suelos*. México.

Con el resultado del CBR de esta prueba se puede clasificar el suelo e indicar el empleo que puede dársele a un determinado material.

Tabla 4-5. Clasificación del CBR

CBR	CLASIFICACIÓN
0-5	Sub-rasante muy mala
5-10	Sub-rasante mala
10-20	Sub-rasante regular a buena
20-30	Sub-rasante muy buena
30-50	Sub-base buena
50-80	Base buena
80-100	Base muy buena

Fuente: Crespo Villalaz, C. (2008).

Mecánica de suelos. México.

4.6.1. Control de la compactación (H-4140 GEOGAUGE).

El GeoGauge es el instrumento más avanzado en el control del proceso de compactación de suelos permitiendo la construcción de carreteras y autopistas de alta calidad y bajo costo. Las capas y componentes del pavimento, pueden ahora compactarse a propiedades pertinentes, tomadas directamente del diseño.

Controla efectivamente la compactación del suelo conforme a las propiedades de diseño de ingeniería para no derrochar esfuerzo y no provocar daño por sobre compactación. Fácilmente indica las áreas con problemas para una rápida solución, mientras el equipo está todavía en el terreno. Es superior a las mediciones de densidad, reduciendo la variabilidad de construcción, mediante el control de propiedades uniformes de capa para mejorar la distribución de esfuerzos desde la superficie a la sub-base para una vida más larga, superficie de tersura más duradera y reducción de mantenimiento, todo esto con el fin de mejorar el costo vida-ciclo.

Este instrumento como se mencionó anteriormente puede utilizarse para evaluar la fuerza potencial de materiales empleados base, sub-base y sub-rasante e incluyendo materiales tratados para su uso en carreteras y terraplenes. Los valores de CBR estimado en este método forman parte integrante de varios métodos de diseño para pavimentos, en particular para la determinación empírica de espesores de capa.

El GeoGauge puede ser aplicado en cualquier lugar que exista la necesidad de evaluar estructuralmente un material, El CBR puede ser estimado a partir de las mediciones del GeoGauge mediante el uso de la ecuación 4-1, donde el CBR está dado en porcentaje (%) y KG es la rigidez en (MN/m) determinada por el GeoGauge, este instrumento trabaja con un coeficiente de correlación R_2 de 0.84 para todos los datos

provistos. La ecuación con la que se calcula el CBR usando el GEOGAUGE es la siguiente:

$$CBR = 0.0039(8.672KG)^2 - 5.75 \qquad \text{Ecuación 4-1}$$

4.6.2. Control de compactación: Impacto de CLEGG (modelo H-4190).

El impacto de Clegg es un sistema nuevo de control de compactación de suelos (cumple con la norma ASTM D-5874).

La técnica de Clegg consiste en maniobrar un dispositivo de uso simple el cual está compuesto por tres componentes básicos los cuales son: una masa cilíndrica con un peso determinado, un tubo hueco también cilíndrico que guía la caída de la masa cilíndrica y un dispositivo de lectura digital o pantalla medidora. Este dispositivo es de cómodo uso debido ya que es liviano y de corto tamaño, lo que permite moverlo de un lado a otro sobre largos tramos en estudio, también es posible utilizarlo en montañas y sobre el rumbo de pavimentos.

El martillo Clegg está basado en la instrumentación del martillo de compactación de laboratorio. El martillo tiene un peso de 4.5 kg con un diámetro de 5 cm y se deja caer desde una altura estándar de 45 cm. Este instrumento está provisto de un acelerómetro piezoeléctrico que genera una lectura digital basada en la desaceleración pico del martillo al caer. El valor que registra dicho acelerómetro se le conoce como Valor de Impacto Clegg (VIC) (1 VIC equivale a 10 gravedades). La lectura del VIC registrada al cuarto o quinto golpe es el valor estándar típicamente recomendado, debido a que los valores de éste comienzan a estabilizarse en ese golpe (Clegg, 1986).

Bajo costo: un ensayo de impacto requiere sólo una persona y emplea menos de un minuto en su ejecución. El valor de impacto se muestra directamente e instantáneamente en el medidor del martillo al término de un ensayo. El ensayo de Clegg puede ser realizado por el mismo supervisor o por la persona encargada del trabajo.

El martillo de Impacto Clegg ha sido utilizado en el mundo entero por gobiernos locales, ingenieros consultores, contratistas, compañías de minería y construcción, laboratorios de suelos, universidades, institutos de investigación, el ejército, etc.

Para el diseño de pavimentos, el VIC es similar, en concepto, al valor de soporte California (CBR). El VIC puede ser utilizado como una alternativa al CBR en el campo o en el laboratorio en muestras sin saturar.

En construcción, los valores (VIC) provee un medio de control de procesos mediante el monitoreo del efecto de las pasadas del rodillo y verificación de la variabilidad. El porcentaje de compactación puede ser estimado mediante el cálculo del VIC necesario para lograr el nivel de densidad deseado para un material y contenido de humedad

dados. Para evaluación, el VIC puede ser usado para asegurar la resistencia adecuada, capa por capa, de la estructura del pavimento. También se puede utilizar para monitorear el efecto de los cambios ambientales e investigar las fallas en el pavimento. La ecuación más reciente y la que se usará para el cálculo de los valores de CBR es la siguiente:

$$CBR = 0.1691(VIC)^{1.695} \quad \text{Ecuación 4-2}$$

4.7. Mezclas de suelo-cemento

Según el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCC, 2009) define al suelo-cemento como un material elaborado a partir de una mezcla de suelos finos y/o granulares, cemento y agua, la cual se compacta y se cura para formar un material endurecido con propiedades mecánicas específicas. El suelo-cemento se usa normalmente como capa de apoyo de otros materiales o bien como capa resistente bajo capas bituminosas. Puede fabricarse en planta central o ejecutarse in situ.

4.7.1. Suelo-cemento en la actualidad.

Existen diversas razones que actualmente determinan un mayor uso del suelo-cemento en la construcción de estructuras de pavimentos. Tanto consultores como entidades encargadas de la administración vial coinciden en que la demanda de un transporte de calidad requiere una mayor durabilidad de los materiales, estructuras de pavimentos y sub-rasantes.

Para lograr la misma, es indispensable contar con estructuras de pavimento con capas de elevada capacidad de soporte y resistentes a los agentes atmosféricos.

Otra razón para usar suelo-cemento en carreteras es el aspecto de protección del medio ambiente, el cual cada vez impone mayores limitaciones para la búsqueda y explotación de bancos de materiales, práctica por muchos años utilizada. Finalmente, la posibilidad de reducir espesores de capas que conforman la estructura del pavimento sin disminuir la capacidad estructural de la misma, es uno de los logros que pueden obtenerse de las características que tiene el suelo-cemento, debido a su relativamente elevado módulo de elasticidad. Esto se traduce en ahorros de materiales y aumento en los rendimientos de construcción.

La dosificación de las mezclas de suelo-cemento viene a ser a fin cuentas la cuestión fundamental, pues el cemento, es el elemento más costoso y fijar su proporción determina la factibilidad técnica de la estabilización, aparte que las propiedades que se logren para la mezcla dependen también esencialmente de la cantidad de cemento que se emplee.

El diseño de la mezcla se hace en el laboratorio, siendo los ensayos que más se utilizan para ello, el de durabilidad, llamado también de humedecimiento y secado y el

de compresión simple de especímenes compactadas bajo las condiciones especificadas según norma AASTHO T - 134. Con relación al primero, las especificaciones fijan los valores aceptables en función del tipo de suelo que se establezca, mientras que con respecto al segundo, luego de encontrar que para su medio ambiente, una resistencia de 21 kg/cm² por espécimen curado durante 7 días, equivalía a los resultados del ensayo de humedecimiento y secado.

De otra parte no debe olvidarse que la resistencia de una mezcla de suelo- cemento se ve favorecida por el aumento de temperatura, lo que es benéfico en áreas tropicales, donde las temperaturas de curado suelen ser superiores a las recomendadas por las normas.

Tabla 4-6. *Contenido de Cemento probable para suelos limosos y arcillosos*

Indice del grupo de suelo	Limo más Arcilla	Densidad aparente máxima (kg/m ³)						
		1400 a 1520	1520 a 1600	1600 a 1680	1680 a 1760	1760 a 1840	1840 a 1920	1920 a más
0 - 3	0 -19	12	11	10	8	8	7	7
	20 - 39	12	11	10	9	8	8	7
	40 - 59	13	12	11	9	9	8	8
	60 ó más	-	-	-	-	-	-	-
4 - 7	0 -19	13	12	11	9	8	7	7
	20 - 39	13	12	11	10	9	8	8
	40 - 59	14	13	12	10	10	9	8
	60 ó más	15	14	12	11	10	9	9
8 - 11	0 -19	14	13	11	10	9	8	8
	20 - 39	15	14	11	10	9	9	9
	40 - 59	16	14	12	11	10	10	9
	60 ó más	17	15	13	11	10	10	10
12 - 15	0 -19	15	14	13	12	11	9	9
	20 - 39	16	15	13	12	11	10	10
	40 - 59	17	16	14	12	12	11	10
	60 ó más	18	16	14	13	12	11	11
16 - 20	0 -19	17	16	14	13	12	11	10
	20 - 39	18	17	15	14	13	11	11
	40 - 59	19	18	15	14	14	12	12
	60 ó más	20	19	16	15	14	13	12

Fuente: *Instituto Colombiano de Productores de Cemento, (ICPC).*

4.8. Resultados de estudio geotécnico

Para definir los parámetros óptimos y necesarios en la carpeta de rodamiento y a su vez poder localizar las fuentes de materiales apropiados para la conformación de la misma se elaboraran las siguientes actividades que están comprendidas en el estudio geotécnico del proyecto:

4.8.1. Sondeos manuales.

Lo correspondiente al trabajo de campo consistió en realizar sondeos o excavaciones manuales (8 en total) a una equidistancia variable de 200 y 250 metros, se hicieron a esa distancia por cuestiones económicas y también porque teóricamente es permitido. La profundidad total de cada sondeo fue de 150 centímetros de donde se recopilaban todas las muestras para su debido análisis en el laboratorio de suelos. Todas las muestras que se obtuvieron se caracterizaron y se rotularon para su posterior traslado al laboratorio para ser evaluados de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos.

4.8.2. Clasificación de las muestras de suelo del sitio del proyecto.

El proyecto de “Diseño de un tramo vial de 1.73 kilómetros, en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS), Nicaragua”, consta de dos tramos de calles que sirven de acceso al centro de dicho poblado, el primero tiene una longitud de 947 metros lineales que será identificado como **tramo 1 (T1)** y el segundo tramo tiene una longitud lineal de 782 metros y se identifica como **tramo 2 (T2)**; en el T1 se realizaron 5 sondeos manuales y en el T2 se realizaron 3 sondeo.

Aquí se presentan los resultados de análisis de laboratorios para los tramos mencionados anteriormente, de forma separada:

Tramo 1 (T1)

Sondeo 1:

Estrato 1 (0.00-0.30 m):

grava	arena	finos	LL	57.00			
1.07	22.08	76.86	LP	36.00	%QP#200	76.86	T. de Suelo A-7-6(19)
			IP	21.00	IG=	19	

Suelo arcilloso de alta plasticidad, se considera Deficiente como material para sub-rasante.

Estrato 2 (0.30-0.68 m):

grava	arena	finos	LL	71.00			
1.57	34.44	63.98	LP	61.00	%QP#200	63.98	T. de Suelo A-5(10)
			IP	10.00	IG=	10	

Suelo Limoso, de plasticidad media, se considera Regular a Deficiente como material para sub-rasante.

Estrato 3 (0.68-1.50 m):

grava	arena	finos	LL	73.00			
5.72	39.82	54.46	LP	64.00	%QP#200	54.46	T. de Suelo A-5(7)
			IP	9.00	IG=	7	

Suelo limoso de plasticidad media, se considera Regular a Deficiente como material para sub-rasante.

Sondeo 2:

Estrato 1 (0.00-0.20 m):

grava	arena	finos	LL	71.00			
1.24	20.22	78.54	LP	53.00	%QP#200	78.54	T. de Suelo A-7-6(21)
			IP	18.00	IG=	21	

Suelo arcilloso de alta plasticidad, se considera Deficiente como material para sub-rasante.

Estrato 2 (0.20-0.46 m):

grava	arena	finos	LL	76.00			
0.00	30.05	69.95	LP	66.00	%QP#200	69.95	T. de Suelo A-5(13)
			IP	10.00	IG=	13	

Suelo limoso de plasticidad media, se considera Regular a Deficiente como material para sub-rasante.

Estrato 3 (0.46-0.75 m):

grava	arena	finos	LL	84.00			
0.16	66.63	33.21	LP	66.00	%QP#200	33.21	T. de Suelo A-2-7(1)
			IP	18.00	IG=	1	

Suelo arenoso con finos de limo de alta plasticidad, se considera Buena como material para sub-rasante.

Estrato 4 (0.75-1.50 m):

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

grava	arena	finos	LL	80.00			
0.42	40.64	58.94	LP	68.00	%QP#200	58.94	T. de Suelo A-5(10)
			IP	12.00	IG=	10	

Suelo limoso de plasticidad media, se considera Regular a Deficiente para material para sub-rasante.

Sondeo 3:

Estrato 1 (0.00-0.70 m):

grava	arena	finos	LL	65.00			
1.33	28.40	70.27	LP	47.00	%QP#200	70.27	T. de Suelo A-7-6(16)
			IP	18.00	IG=	16	

Suelo arcilloso de plasticidad alta, se considera Deficiente como material para sub-rasante.

Estrato 2 (0.70-0.95 m):

grava	arena	finos	LL	60.00			
5.05	57.55	37.40	LP	45.00	%QP#200	37.40	T. de Suelo A-5(2)
			IP	15.00	IG=	2	

Suelo limoso con alto contenido de arena, de plasticidad media, se considera Regular como material para sub-rasante.

Estrato 3 (0.95-1.50 m):

grava	arena	finos	LL	66.00			
0.16	31.09	68.75	LP	53.00	%QP#200	68.75	T. de Suelo A-5(13)
			IP	13.00	IG=	13	

Suelo limoso de plasticidad media, se considera Regular como material para sub-rasante.

Sondeo 4:

Estrato 1 (0.00-0.30 m):

grava	arena	finos	LL	68.00			
0.28	25.38	74.33	LP	54.00	%QP#200	74.33	T. de Suelo A-6(16)
			IP	14.00	IG=	16	

Suelo arcilloso de plasticidad media, se considera Deficiente como material para sub-rasante.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Estrato 2 (0.30-0.87 m):

grava	arena	finos	LL	61.00			
4.45	33.39	62.16	LP	40.00	%QP#200	62.16	T. de Suelo A-6(13)
			IP	21.00	IG=	13	

Suelo arcilloso de alta plasticidad, se considera Deficiente como material para sub-rasante.

Estrato 3 (0.87-1.50 m):

grava	arena	finos	LL	67.00			
0.32	27.06	72.62	LP	55.00	%QP#200	72.62	T. de Suelo A-6(14)
			IP	12.00	IG=	14	

Suelo arcilloso de plasticidad media, se considera Deficiente como material para sub-rasante.

Sondeo 5:

Estrato 1 (0.00-0.25 m):

grava	arena	finos	LL	78.00			
1.20	12.98	85.83	LP	56.00	%QP#200	85.83	T. de Suelo
			IP	22.00	IG=	28	A-7-6 (28)

Suelo arcilloso de alta plasticidad, se considera Deficiente como material para sub-rasante.

Estrato 2 (0.25-0.65 m):

grava	arena	finos	LL	67.00			
0.22	24.66	75.12	LP	47.00	%QP#200	75.12	T. de Suelo A-7-6(19)
			IP	20.00	IG=	19	

Suelo arcilloso de alta plasticidad, se considera Deficiente como material para sub-rasante.

Estrato 3 (0.65-0.95 m):

grava	arena	finos	LL	64.00			
1.03	15.09	83.88	LP	51.00	%QP#200	83.88	T. de Suelo A-7-6(18)
			IP	13.00	IG=	18	

Suelo arcilloso de plasticidad media, se considera Deficiente como material para sub-rasante.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Estrato 4 (0.65-1.50 m):

grava	arena	finos	LL	59.00			
0.54	33.62	65.84	LP	48.00	%QP#200	65.84	T. de Suelo A-5(10)
			IP	11.00	IG=	10	

Suelo limoso de plasticidad media, se considera Regular como material para sub-rasante.

Tramo 2 (T2)

Sondeo 1:

Estrato 1 (0.00-0.35 m):

grava	arena	finos	LL	55.00			
1.10	31.39	67.51	LP	49.00	%QP#200	67.51	T. de Suelo A-5(7)
			IP	6.00	IG=	7	

Suelo limoso de plasticidad media, se considera Regular como material para sub-rasante.

Estrato 2 (0.35-1.50 m):

grava	arena	finos	LL	53.00			
1.00	29.80	69.20	LP	39.00	%QP#200	69.20	T. de Suelo A-6(11)
			IP	14.00	IG=	11	

Suelo arcilloso de plasticidad media, se considera Deficiente como material para sub-rasante.

Sondeo 2:

Estrato 1 (0.00-0.45 m):

grava	arena	finos	LL	49.00			
0.14	34.82	65.04	LP	44.00	%QP#200	65.04	T. de Suelo A-5(5)
			IP	5.00	IG=	5	

Suelo limoso de plasticidad media, se considera Regular como material para sub-rasante.

Estrato 2 (0.45-0.75 m):

grava	arena	finos	LL	73.00			
0.21	30.47	69.32	LP	51.00	%QP#200	69.32	T. de Suelo A-7-6(19)
			IP	22.00	IG=	19	

Suelo arcilloso de alta plasticidad, se considera Deficiente como material para sub-rasante.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Estrato 3 (0.75-1.50 m):

grava	arena	finos	LL	56.00			
7.08	56.87	36.05	LP	39.00	%QP#200	36.05	T. de Suelo A-6(2)
			IP	17.00	IG=	2	

Suelo arcilloso de alta plasticidad, se considera Regular a Deficiente como material para sub-rasante.

Sondeo 3:

Estrato 1 (0.00-0.46 m):

grava	arena	finos	LL	70.00			
4.60	53.72	41.69	LP	52.00	%QP#200	41.69	T. de Suelo A-6(4)
			IP	18.00	IG=	4	

Suelo arcilloso de alta plasticidad, se considera Deficiente como material para sub-rasante.

Estrato 2 (0.46-1.50 m):

grava	arena	finos	LL	58.00			
0.18	15.68	84.15	LP	46.00	%QP#200	84.15	T. de Suelo A-5(16)
			IP	12.00	IG=	16	

Suelo limoso de plasticidad media, se considera Regular a Deficiente como material para sub-rasante.

4.8.3. Análisis de resultados.

Con base en los reportes técnicos de campo y los resultados obtenidos en los laboratorios, se utilizó el método AASHTO o HRB, para obras horizontales, lo que permitió identificar el tipo de suelo que contenía cada punto o sondeo realizado a lo largo de la vía; así como, la función que puede desempeñar éste, al ser usado como material para la sub-rasante de la vía. Seguidamente se procedió a esquematizar, por medio de una gráfica ilustrativa, cada uno de los sondeos manuales de cada tramo en estudio con sus respectivos estratos, y a su vez haciendo uso del espesor o profundidad de los mismos como se muestra a continuación:

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

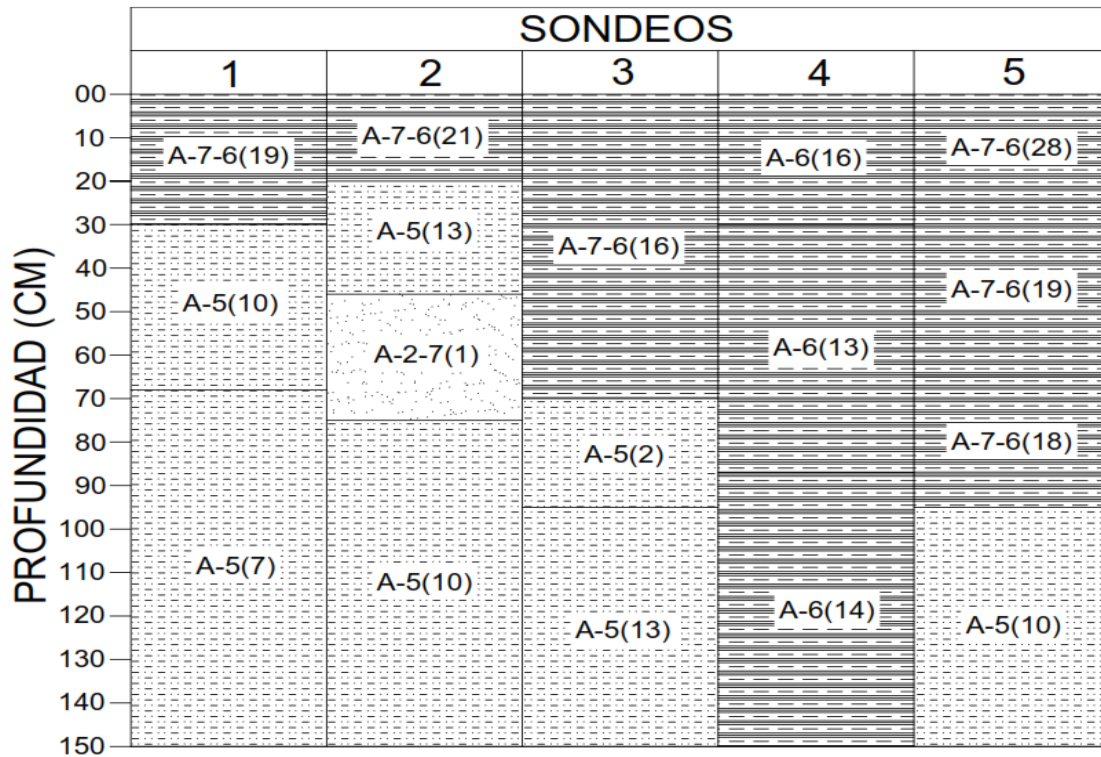


Figura 4-2. Esquematización de los sondeos del Tramo 1 (T1).

Fuente: Elaboración propia. (2016).

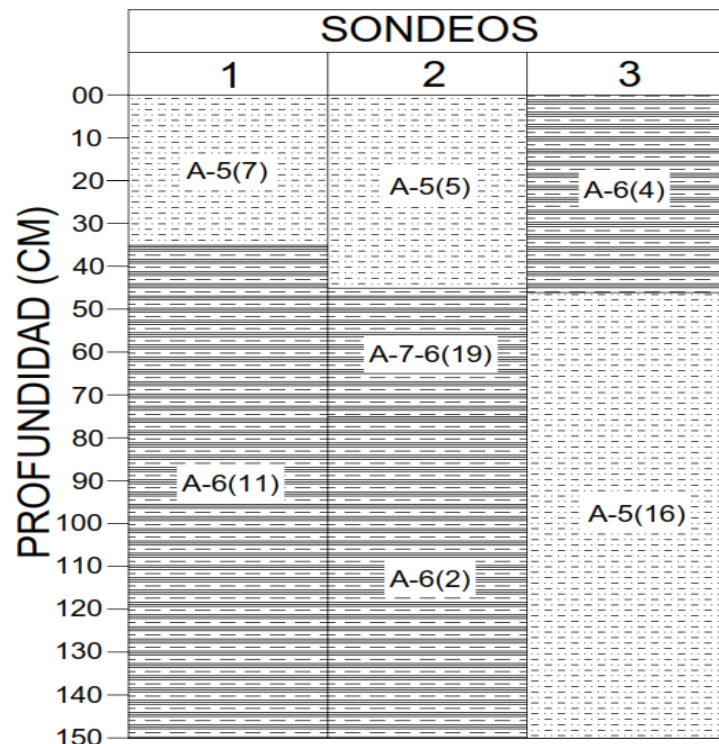


Figura 4-3. Esquematización de los sondeos del Tramo 2 (T2).

Fuente: Elaboración propia. (2016).

A continuación se muestra el tipo de suelo que predomina en cada uno de los tramos en estudio, según los resultados de clasificación obtenidos en los sondeos manuales realizados para cada caso:

Tramo 1 (T1):

En el primer sondeo (**S1**), que contiene tres estratos, se observa dos tipos de suelos predominantes; el primero es un suelo arcilloso, **A-7-6(19)**, encontrándose como estrato superior a una profundidad desde la superficie de 0.30 m, conteniendo un bajo porcentaje de material granular y un alto contenido de limos, el segundo y el tercer estrato están constituidos por suelo limoso, **A-5(10)** y **A-5(7)**, a una profundidad de 0.30-0.68 y de 0.68-1.50 m, respectivamente; presentándose en este caso un alto contenido de material granular y finos de arcilla, para los dos últimos estratos de este sondeo. Es importante mencionar que estos tipos de suelo no son aptos para ser usado como material para sub-rasante por su elevado contenido de finos y alta plasticidad.

En el segundo sondeo (**S2**), que contiene cuatro estratos, se puede apreciar que predominan tres tipos de suelos; el primero es suelo arcilloso con alto grado de finos de limos, **A-7-6(21)**, encontrándose a una profundidad desde la superficie de 0.20 m, conteniendo un bajo porcentaje de material granular y una plasticidad alta, lo cual lo ubica en los suelos deficientes para material como sub-rasante; el segundo tipo de suelo lo constituye el estrato número dos, el cual es un suelo limoso con alto contenido de arenas finas y casi con igual proporción de arcilla, **A-5(13)**, lo que también se descarta como material para sub-rasante por su alto contenido de finos plásticos, y se encuentra a una profundidad de 0.20-0.46 m; el tercer tipo de suelo lo constituye el estrato número tres, el cual es un suelo arenoso con bajo contenido de arcilla y limo, **A-2-7(1)**, y se considera bueno para ser usado como material para sub-rasante, se encuentra a una profundidad de 0.46-0.75 m. El estrato número cuatro es clasificado como, **A-5(10)**, a igual como el primer estrato de este sondeo, sin embargo, contiene un alto contenido de material granular (pero los finos están por arriba del 35% que establece la AASHTO) y por tal razón es considerado un suelo limoso con alto contenido de arena y finos de arcilla y, se encuentra a una profundidad de 0.75-1.50 m, considerado un material regular para ser usado como material para sub-rasante.

En el tercer sondeo manual (**S3**), el cual contiene tres estratos, se observa que predominan dos tipos de suelo para los tres estratos encontrados; el primero es suelo arcilloso de alta plasticidad, con alto contenido de finos de limos y bajo en arenas finas, y es clasificado según la AASHTO como **A-7-6(16)**, se encuentra a una profundidad desde la superficie de 0.70 m y no es considerado apto para ser usado como material para sub-rasante por su alto contenido de finos plásticos; el segundo tipo de suelo lo conforman los dos últimos estratos encontrados en dicho sondeo a una profundidad de 0.70-0.95 y 0.95-1.50 m; aunque los dos estratos pertenecen a la misma clasificación de

suelos limosos, **A-5(2)** y **A-5(13)**, estos contienen diferentes proporciones de arena, limo o arcilla y, no se consideran aptos como material para sub-rasante, pero podrían utilizarse en un remoto y específico caso en donde no haya otro tipo de material para reemplazarlo.

Seguidamente se presenta el cuarto sondeo manual (**S4**), que presenta tres estratos, pero según la clasificación de la AASHTO los agrupa en un solo tipo de suelo arcilloso, **A-6**, solamente la proporción de finos y arenas varía un poco y se considera como material deficiente para ser usado como sub-rasante por contener un alto contenido de arcillas y limos de plasticidad media-alta; las profundidades en que se encuentran son de 0.30, 0.30-0.87 y de 0.87-1.50 m, respectivamente.

En el quinto sondeo manual correspondiente al T1, se encuentran cuatro estratos que son agrupados según su clasificación en dos tipos de suelo; el primero está constituido por los primeros tres estratos encontrados en este sondeo y son del tipo (**A-7-6**) que es un suelo arcilloso de alta plasticidad con arenas finas, e igual que los sondeos anteriores, también varía la proporción de arenas y finos de arcillas y limos, aunque pertenezcan a un mismo tipo de suelo, se encuentran a profundidades de 0.25, 0.25-0.65 y 0.65-0.95 m, respectivamente; y también se considera un suelo malo para ser usado como material para sub-rasante. El segundo tipo de suelo corresponde al último estrato encontrado a una profundidad de 0.95-1.50 m y es clasificado como suelo del tipo **A-5(10)**, el cual es un suelo limoso con alto grado de arcilla de plasticidad media y se considera regular como material para sub-rasante.

Es importante resaltar que, cuando el porcentaje de arcilla está bastante cerca al porcentaje de limo, el suelo actúa más como una arcilla, por tal motivo este tipo de suelo no es recomendado para ser usado en la sub-rasante, al menos sin mejorarlo.

Tramo 2 (T2):

El segundo tramo de calle (con 782 metros lineales), como se mencionó anteriormente, solamente se hicieron tres sondeos manuales, ya que el primero y segundo sondeo del T1 abarcaba el área de influencia del estacionamiento 0+000. Aquí se presentan los resultados de cada uno de los sondeos realizados para este tramo (T2):

En el primer sondeo se encuentran dos estratos y a su vez dos tipos de suelo de la tipología de materiales finos; el primero es un suelo limoso con alto contenido de arena y con casi igual proporción de finos de arcilla de plasticidad media **A-5(7)**, se encuentra ubicado desde la superficie a una profundidad de 0.35 m y es considerado un suelo regular para ser usado como material para sub-rasante, aunque no es recomendado sin su debido mejoramiento; el segundo tipo de suelo es **A-6(11)**, el cual pertenece a los suelos arcillosos con finos de limo de plasticidad media y contenido de arena regular y

no se considera apto como material para sub-rasante por su alto contenido de finos plásticos, se encuentra a una profundidad de 0.35-1.50 m.

El segundo sondeo realizado para el tramo en estudio, presenta tres estratos y a su vez tres tipos de suelos de acuerdo a la clasificación de la AASHTO; el primero fue clasificado como **A-5(5)**, el cual es un suelo limo con contenido de arena y de finos de arcilla, de plasticidad media y es considerado regular para material de sub-rasante pero no recomendado, se encuentra a una profundidad de 0.45 m desde la superficie; el segundo tipo de suelo se clasifica como **A-7-6(19)**, y pertenece a los suelos arcillosos de alta plasticidad, con alto contenido de arena; de igual forma que la mayoría de los estratos anteriores que pertenecen a este tipo de suelos, no se considera idóneo para usarse como material para sub-rasante por su comportamiento plástico bien alto y sería difícil su compactación, se encuentra a una profundidad de 0.45-0.75 m; el ultimo tipo de suelo de este sondeo pertenece al estrato número tres de la excavación y es clasificado como **A-6(2)**, y la AASHTO lo ubica en los suelos arcillosos, aunque contiene arena con finos de limo de alta plasticidad, es considerado Regular si se usa para sub-rasante, aunque da mejores resultados si se hace su debido mejoramiento para este tipo de suelos, está ubicado a una profundidad de 0.75-1.50 m.

Posteriormente se presenta el tercero y último sondeo realizado en este tramo en estudio (T2), el cual presenta dos estratos diferentes; el primer estrato pertenece a suelos arcillosos **A-6(4)**, de alta plasticidad y con un porcentaje de arena bastante alto, además de contener finos de limo, se encuentra a una profundidad de 0.46 m desde la superficie y es considerado deficiente para ser empleado como material para la sub-rasante de una vía; el segundo tipo de suelo pertenece a los suelos limosos de plasticidad media y con alto contenido de finos de arcilla, se considera regular a deficiente para ser empleado como material para sub-rasante por su alto contenido de finos plásticos de limo y arcilla, se encuentra localizado a una profundidad desde la superficie de 0.46-1.50 m.

Resultados de CBR usando el GEOGAUGE y MARTILLO DE CLEGG, en los dos tramos de calles (Sub-rasante).

Cabe señalar que se hicieron solamente cuatro pruebas de compactación de los 24 estratos encontrados a lo largo de los dos tramos de vía, ya que se usó el método de agrupación para todas aquellas muestras similares que se encontraron, luego de haber realizado las pruebas índices para cada una de ellas.

Tabla 4-7. Valores de CBR encontrados (muestra 1)

Determinación de la Rigidez del Suelo y el Módulo de Young (Prueba de C.B.R.) Muestra: T1S5M1															
Cantidad de registros	12 Golpes			25 Golpes			56 Golpes			Impacto de Clegg					
	SI-S	CBR	SI-Y	SI-S	CBR	SI-Y	SI-S	CBR	SI-Y	12 Golpes	CBR	25 Golpes	CBR	56 Golpes	CBR
1	No marcó		No marcó	4.14	-0.72	35.93	6.28	5.82	54.49	3.40	1.35	3.80	1.63	4.70	2.33
2				4.56	0.35	39.53	5.70	3.78	49.41	3.70	1.55	4.30	2.00	5.10	2.68
3				4.53	0.27	39.31	5.50	3.12	47.75	4.00	1.77	4.80	2.41	5.50	3.04
4				4.16	-0.67	36.06	6.32	5.96	54.85	4.30	2.00	5.30	2.86	5.90	3.43
5										4.60	2.25	5.80	3.33	6.30	3.83
6										4.90	2.50	6.30	3.83	6.70	4.25

Fuente: Elaboración propia. (2016).

Tabla 4-8. Valores de CBR encontrados (muestra 2)

Determinación de la Rigidez del Suelo y el Módulo de Young (Prueba de C.B.R.) Muestra: T1S5M3															
Cantidad de registros	12 Golpes			25 Golpes			56 Golpes			Impacto de Clegg					
	SI-S	CBR	SI-Y	SI-S	CBR	SI-Y	SI-S	CBR	SI-Y	12 Golpes	CBR	25 Golpes	CBR	56 Golpes	CBR
1	2.22	-4.30	19.22	3.52	-2.12	30.56	4.92	1.35	42.67	3.30	1.28	4.30	2.00	4.50	2.16
2	2.47	-3.96	21.40	3.04	-3.04	26.34	5.20	2.18	45.13	3.70	1.55	4.80	2.41	5.10	2.68
3	2.62	-3.74	22.77	3.13	-2.88	27.16	5.19	2.15	45.04	4.10	1.85	5.30	2.86	5.70	3.23
4	2.52	-3.89	21.84	3.21	-2.73	27.81	5.67	3.68	49.19	4.50	2.16	5.80	3.33	6.30	3.83
5										4.90	2.50	6.30	3.83	6.90	4.47
6										5.30	2.86	6.80	4.36	7.50	5.14

Fuente: Elaboración propia. (2016).

Tabla 4-9. Valores de CBR encontrados (muestra 3)

Determinación de la Rigidez del Suelo y el Módulo de Young (Prueba de C.B.R.) Muestra: T2S1M1															
Cantidad de registros	12 Golpes			25 Golpes			56 Golpes			Impacto de Clegg					
	SI-S	CBR	SI-Y	SI-S	CBR	SI-Y	SI-S	CBR	SI-Y	12 Golpes	CBR	25 Golpes	CBR	56 Golpes	CBR
1	0.77	-5.58	6.67	1.33	-5.23	11.58	3.16	-2.82	27.40	3.90	1.70	4.40	2.08	4.70	2.33
2	1.01	-5.45	8.76	1.33	-5.23	11.58	3.40	-2.36	29.49	4.10	1.85	4.90	2.50	5.30	2.86
3	1.03	-5.44	8.96	1.81	-4.79	15.69	3.73	-1.67	32.35	4.30	2.00	5.40	2.95	5.90	3.43
4	1.13	-5.38	9.84	1.97	-4.61	17.12	3.75	-1.63	32.56	4.50	2.16	5.90	3.43	6.50	4.04
5										4.70	2.33	6.40	3.93	7.10	4.69
6										4.90	2.50	6.90	4.47	7.70	5.38

Fuente: Elaboración propia. (2016).

Tabla 4-10. Valores de CBR encontrados (muestra 4)

Determinación de la Rigidez del Suelo y el Módulo de Young (Prueba de C.B.R.) Muestra: T2S3M2															
Cantidad de registros	12 Golpes			25 Golpes			56 Golpes			Impacto de Clegg					
	SI-S	CBR	SI-Y	SI-S	CBR	SI-Y	SI-S	CBR	SI-Y	12 Golpes	CBR	25 Golpes	CBR	56 Golpes	CBR
1	2.38	-4.09	20.61	4.29	-0.35	37.21	11.11	30.45	96.37	4.10	1.85	5.50	3.04	6.10	3.62
2	2.21	-4.32	19.15	4.58	0.40	39.73	10.86	28.84	94.11	4.60	2.25	6.20	3.73	6.90	4.47
3	2.31	-4.18	20.06	4.96	1.47	43.01	11.37	32.17	98.67	5.10	2.68	6.90	4.47	7.70	5.38
4	2.96	-3.18	25.65	4.83	1.09	41.88	11.31	31.77	98.09	5.60	3.14	7.60	5.26	8.50	6.36
5										6.10	3.62	8.30	6.11	9.30	7.41
6										6.60	4.14	9.00	7.01	10.10	8.52

Fuente: Elaboración propia (2016).

Tabla 4-11. CBR encontrados con el martillo de CLEGG (Material Selecto)

Prueba de C.B.R. usando el Martillo de Clegg. Muestra: MS-1						
Cantidad de registros	Impacto de Clegg					
	12 Golpes	CBR	25 Golpes	CBR	56 Golpes	CBR
1	14.00	14.82	22.20	32.38	39.20	84.87
2	17.00	20.59	23.60	35.91	40.00	87.83
3	18.60	23.99	24.80	39.06	40.80	90.83
4	21.00	29.46	29.40	52.12	41.80	94.63
5	21.40	30.42	31.40	58.27	42.00	95.40

Fuente: Elaboración propia (2016).

Selección del CBR de diseño.

Es importante mencionar que para las pruebas de compactación realizadas se tomó como material de sub-rasante el suelo A-7-6, por ser el suelo predominante y el de menor calidad para desarrollar ésta función. Es decir, el CBR de diseño se seleccionará con base en la muestra de suelo más representativa en cuestiones de cantidad y calidad.

Sin embargo, para determinar el CBR de diseño se adoptará solamente uno de los dos métodos que se emplearon para la prueba de determinación del CBR, por motivo de confiabilidad en datos que se mantienen por arriba de 0 (cero), refiriéndose al MARTILLO DE CLEGG, ya que según la especificación para este método y de acuerdo con el valor de correlación R con el CBR para muestras saturadas, es de 0.92; en cambio el GEOGAUGE su correlación R anda por el 0.82; además que éste último da valores negativos lo cual puede ser porque su uso es más recomendado para pruebas de campo.

Por medio de los valores de CBR encontrados a través del impacto de CLEGG, se determinó un CBR de diseño para la sub-rasante de 3.55%. No obstante, para base y sub-base se encontró un valor de 58.27%. Estos valores fueron obtenidos mediante métodos estadísticos como se muestra a continuación en la tabla 4-12.

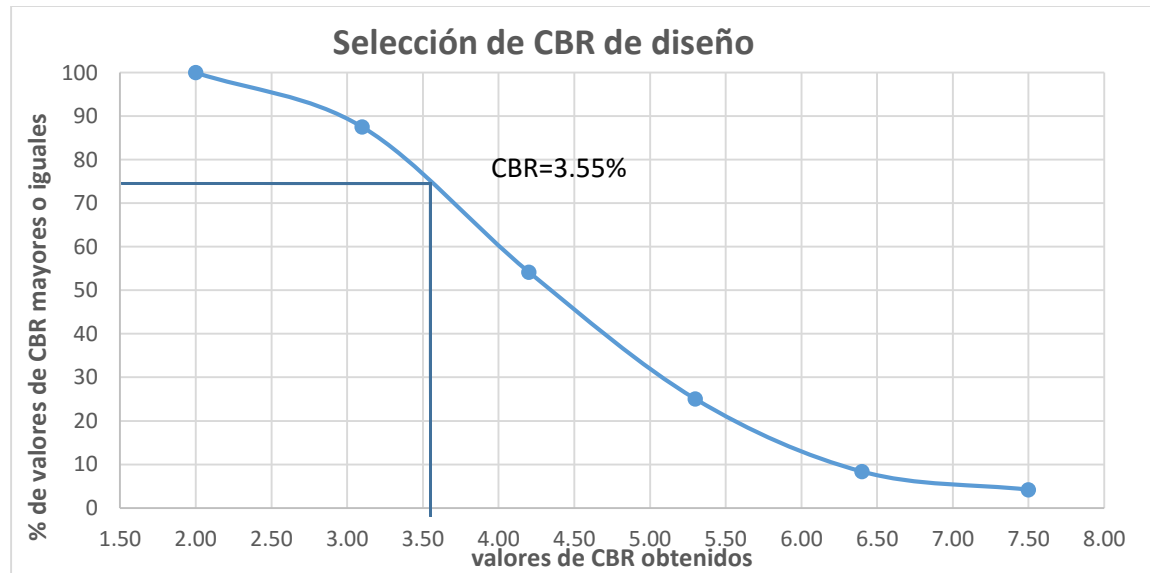
Tabla 4-12. Selección de CBR de diseño para la sub-rasante

valores de CBR obtenidos	Frecuencia	Números de valores mayores o iguales	% de valores CBR mayores o iguales
2.00	3.00	24	100
3.10	8.00	21	88
4.20	7.00	13	54
5.30	4.00	6	25
6.40	1.00	2	8
7.50	1.00	1	4
	24.00		

Fuente: Elaboración Propia (2016).

De acuerdo al tránsito que se espera que circule en la vía, determinado en el estudio de tránsito de este proyecto, y sabiendo que éste está entre $10^4 - 10^6$ ESAL's; según la Tabla 4-1 se tomó un valor percentil para el diseño de sub-rasante del 75% de los valores mayores o iguales, el cual se interseco con la curva de los valores de CBR como se aprecia en la gráfica 4-3, para encontrar el CBR de diseño de la sub-rasante.

Gráfica 4-1. Selección de CBR.



Fuente: Elaboración propia (2016).

Un CBR de diseño de 3.55% es muy bajo y de acuerdo a la tabla 4-3, una sub-rasante con un CBR de menor de 5% estaría clasificada como muy mala, por esta razón se propone un mejoramiento del terreno natural, para que este tenga una mayor capacidad de soporte. En este trabajo se propone un mejoramiento con suelo-cemento, el cual es un método de uso común en el país. El diseño de la mezcla de suelo-cemento se abordará más adelante.

Resultados del análisis para el banco de préstamo.

Con el propósito de caracterizar eficientemente los componentes estructurales de cada una de las capas de la vía y evaluar su calidad como material selecto para hacer dicha función estructural, se procedió a realizar los respectivos ensayos de la siguiente manera: se analizó una sola muestra de material del banco, se determinaron sus propiedades índices para su respectiva clasificación y posteriormente se procedió a realizar la prueba de CBR mediante un ensaye en seco, es decir, no se aplicó el método estándar, se realizó igual que para el análisis de suelo para la sub-rasante, mediante el método del IMPACTO DE CLEGG.

La muestra representativa del material de banco arroja resultados de CBR de 30.42%, 58.27% y 95.40 %; sin embargo, la prueba de compactación que se usó como referencia

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

para calcular la densidad seca máxima y la humedad optima necesaria para alcanzarla, fue la Proctor Estándar, por lo que el CBR de diseño que se usará para el diseño es el alcanzado a través de 25 golpes (100% de compactación Proctor estándar), el cual es de 58.27%. Las cualidades físico mecánicas del banco de préstamo, gravo arenoso son suficientes para ser usado como base y sub-base de la estructura de la vía. El acceso al banco de préstamo es por medio de un camino de todo tiempo, y se encuentra a 5.5 km de la ubicación del proyecto. Ver figura 4-4 de este capítulo.

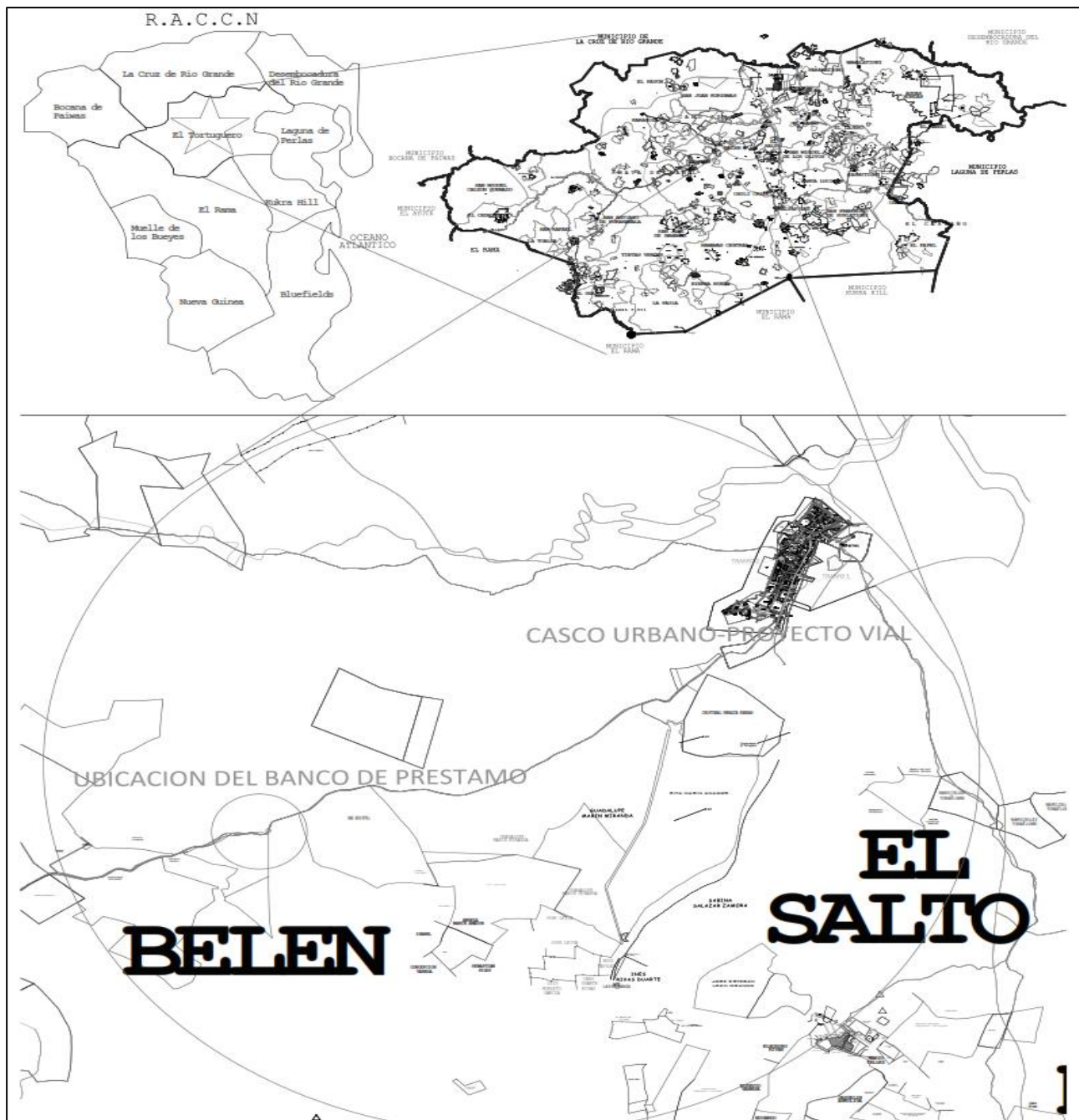


Figura 4-4. Localización del proyecto vial y Banco de Préstamo.

Fuente: Elaboración propia (2016).

Tabla 4-13. Resultado de los ensayos para el tramo 1(T1)

Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (m)	Ensaye CBR	% que pasa por el tamiz					LL (%)	IP (%)	Clasificación	
				3/8"	#4	#10	#40	#200			AASHTO	SUCS
Estación 0+000												
SM-1	1	0.00-0.30	2.20	100.00	98.93	95.70	87.73	76.86	57.0	21.0	A-7-6(19)	CH
	2	0.30-0.68	4.10	100.00	98.43	93.49	83.87	63.98	71.0	10.0	A-5(10)	MH
	3	0.68-1.50	4.10	100.00	94.28	79.13	66.08	54.46	73.0	9.0	A-5(7)	MH
Estación 0+250												
SM-2	1	0.00-0.20	2.20	100.00	98.76	94.62	84.66	78.54	71.0	18.0	A-7-6(21)	CH
	2	0.20-0.46	4.10	100.00	100.00	99.32	84.09	69.95	76.0	10.0	A-5(13)	MH
	3	0.46-0.75	2.20	100.00	99.84	98.09	71.85	33.21	84.0	18.0	A-2-7(1)	SC
	4	0.75-1.50	4.10	100.00	99.58	95.72	72.54	58.94	80.0	12.0	A-5(10)	MH
Estación 0+500												
SM-3	1	0.00-0.70	2.20	99.56	98.67	95.71	87.87	70.27	65.0	18.0	A-7-6(16)	CH
	2	0.70-0.95	2.61	99.28	94.95	85.46	59.22	37.40	60.0	15.0	A-5(2)	MH
	3	0.95-1.50	4.10	100.00	99.84	99.25	90.04	68.75	66.0	13.0	A-5(13)	MH
Estación 0+750												
SM-4	1	0.00-0.30	2.61	100.00	99.72	97.50	87.55	74.33	68.0	14.0	A-6(16)	CH
	2	0.30-0.87	2.20	100.00	95.55	85.30	75.52	62.16	61.0	21.0	A-6(13)	CH
	3	0.87-1.50	4.10	100.00	99.68	98.36	90.90	72.62	67.0	12.0	A-6(14)	CH
Estación 0+950												
SM-5	1	0.00-0.25	2.20	99.50	98.80	97.96	94.81	85.83	78.0	22.0	A-7-6(28)	CH
	2	0.25-0.65	2.20	100.00	99.78	97.53	92.14	75.12	67.0	20.0	A-7-6(19)	CH
	3	0.65-0.95	2.61	100.00	98.97	94.90	90.25	83.88	64.0	13.0	A-7-6(18)	CH
	4	0.95-1.50	4.10	100.00	99.46	95.24	88.49	65.84	59.0	11.0	A-5(10)	MH

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla 4-14. Resultado de los ensayos para el tramo 2 (T2)

Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (m)	Ensaye CBR	% que pasa por el tamiz					LL (%)	IP (%)	Clasificación	
				3/8"	#4	#10	#40	#200			AASHTO	SUCS
Estación 0+250												
SM-1	1	0.00-0.35	2.71	100.00	98.90	96.82	84.78	67.51	55.0	6.0	A-5(7)	MH
	2	0.35-1.50	2.61	100.00	99.00	92.87	83.81	69.20	53.0	14.0	A-6(10)	CH
Estación 0+500												
SM-2	1	0.00-0.45	2.71	100.00	99.86	95.79	83.20	65.04	49.0	5.0	A-5(5)	ML
	2	0.45-0.75	2.20	100.00	99.79	97.82	89.83	69.32	73.0	22.0	A-7-6(19)	CH
	3	0.75-1.50	2.61	100.00	92.92	72.26	51.04	36.05	56.0	17.0	A-6(2)	CH
Estación 0+800												
SM-3	1	0.00-0.46	2.20	100.00	95.40	78.77	56.51	41.69	70.0	18.0	A-6(4)	CH
	2	0.46-1.50	4.10	100.00	99.82	97.40	92.08	84.15	58.0	12.0	A-5(16)	MH

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla 4-15. Resultado de los ensayos para el banco de préstamo

Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (m)	Ensaye CBR	% que pasa por el tamiz					LL (%)	IP (%)	Clasificación		
				3/8"	#4	#10	#40	#200			AASHTO	SUCS	
Estación 05+500. Comunidad Belén-Banco de Material Selecto													
MS	1	-	58.27	14.00	10.90	9.10	6.70	4.60	-	-	A-1-a(0)	GW	

Fuente: *Elaboración propia*. (2016).

4.8.4. Diseño de mezcla de Suelo-Cemento.

Para la elaboración de la mezcla de suelo cemento, se utilizó muestras provenientes del mismo suelo encontrado en la vía, en este caso el suelo que se usó, fue el proveniente del primer estrato del sondeo número 5 que se realizó en el tramo (T1) (ver tabla 4-13 del resultado final de ensayos de laboratorio), ya que dicho suelo presentaba las peores condiciones de acuerdo a su clasificación. Se utilizó una cantidad de material de 2 sacos de 70 Kg aproximadamente.

Este material corresponde a una arcilla con limos, color rojizo, y según la clasificación de la AASHTO es un A-7-6(28), y en la clasificación SUCS es un CH.

Para la dosificación de cemento en la mezcla, se siguió como guía el Manual de Notas Técnicas Dosificación de Suelo Cemento por el ICPC (Instituto Colombiano de Productores de Cemento). Dicha guía se basa en la Norma General para dosificación, Norma simplificada para dosificación y las Normas AASHTO T 134-70 y T135-70.

Para determinar el contenido de cemento, se ubicó el índice de grupo del suelo de la clasificación AASTHO obtenida del análisis de granulometría del suelo mencionado anteriormente. (Ver Tabla 4-13. Tipo de suelo de la muestra en estudio), en la tabla 4-4 (Contenido de cemento probable para suelos limosos y arcillosos).

Debido a que se cuenta con un suelo del tipo A-7-6, se ubicó en la primera columna y última fila de la tabla. Luego, en la segunda columna se ubicó el índice plástico en el intervalo de 20-39 puesto que se tiene un índice plástico de 22%. Por último se ubicó el valor del Proctor 1,368kg/m³, que cabe en la primera columna de la tabla.

Interceptando todos los valores se obtuvo un porcentaje inicial de 18% \pm 2. Es decir, los especímenes se elaborarán con un 16%, 18% y 20% de contenido de cemento, respectivamente.

Elaboración de especímenes de suelo-cemento.

Para la elaboración de los especímenes de suelo-cemento se utilizó 10,000 gramos de material fino en estado seco y, se usó la humedad óptima calculada en la prueba de Proctor estándar. En virtud de que la prueba se está adaptando para usar equipos como el Martillo de Clegg, para calcular CBR de laboratorio, entonces se elaboraron 3 especímenes con cada porcentaje de cemento (para un total de 9 especímenes), aplicando una cantidad de golpes de 12, 25 y 56 respectivamente, siempre y cuando tomando en cuenta que este método considera una penetración de 2.50 mm, al igual que la prueba estándar del CBR en el laboratorio. Los datos de los especímenes son los siguientes:

Tabla 4-16. *Datos de especímenes elaborados en el laboratorio*

Componentes	Porcentaje de Cemento (C. CANAL)		
	16%	18%	20%
S. fino seco (gr)	10000	10000	10000
Cemento (gr)	1600	1800	2000
Agua (ml)	3677	3741	3804

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Con los especímenes elaborados se procedió a tomar lecturas con el equipo de Impacto de Clegg (VIC), consecutivamente iban avanzando los días (a partir del día que fueron elaborados) hasta un tiempo máximo de 5 días, aplicando procesos de curados para mantener una humedad adecuada, a cada uno de los especímenes de Suelo-Cemento con 16, 18 y 20% de cemento. Para el procedimiento y elaboración se siguió la norma ASTM T-134.

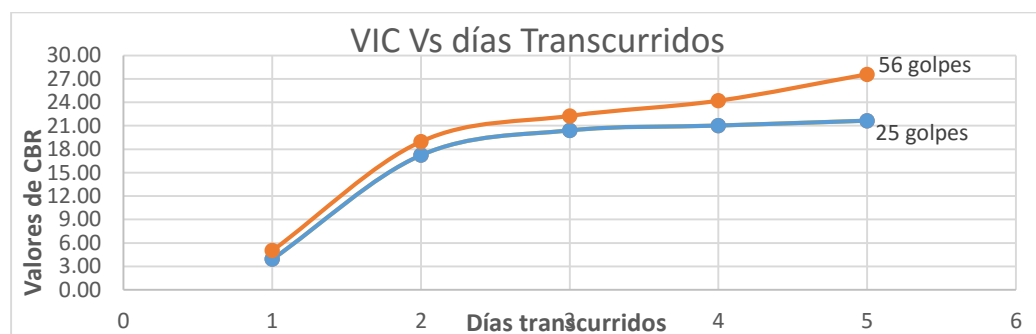
A continuación se presentan los resultados de CBR obtenidos, utilizando el martillo de Clegg, para cada uno de los especímenes de suelo-cemento. Es importante mencionar que por falta de la cantidad de moldes necesarios para poder elaborar todos los especímenes con 3 diferentes energía de compactación para cada porcentaje de cemento, se elaboraron solamente 6 especímenes de suelo-cemento, como se muestra en la tabla siguiente (de forma independiente cada porcentaje):

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 4-17. Resultados de CBR con 16% de cemento

Especimen	Cemento Canal (%)	Edad (días)	Valor Impacto de Clegg (VIC)			CBR encontrado		
			12 golpes	25 golpes	56 golpes	12 golpes	25 golpes	56 golpes
1 y 2	16	1	No se elaboró	6.40	7.40	No se elaboró	3.93	5.03
1 y 2		2		15.30	16.20		17.23	18.98
1 y 2		3		16.90	17.80		20.39	22.26
1 y 2		4		17.20	18.70		21.01	24.21
1 y 2		5		17.50	20.20		21.63	27.59

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).



Gráfica 4-2. Comportamiento de valores de CBR con 16% de cemento.

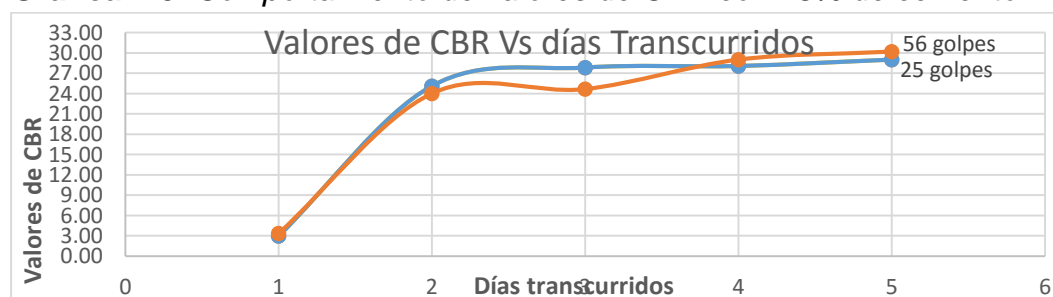
Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla 4-18. Resultados de CBR con 18% de cemento

Especimen	Cemento Canal (%)	Edad (días)	Valor Impacto de Clegg (VIC)			CBR encontrado		
			12 golpes	25 golpes	56 golpes	12 golpes	25 golpes	56 golpes
3 y 4	18	1	No se elaboró	5.40	6.10	No se elaboró	2.95	3.62
3 y 4		2		19.10	18.60		25.09	23.99
3 y 4		3		20.30	18.90		27.82	24.65
3 y 4		4		20.40	20.80		28.05	28.99
3 y 4		5		20.80	21.30		28.99	30.18

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Gráfica 4-3. Comportamiento de valores de CBR con 18% de cemento.



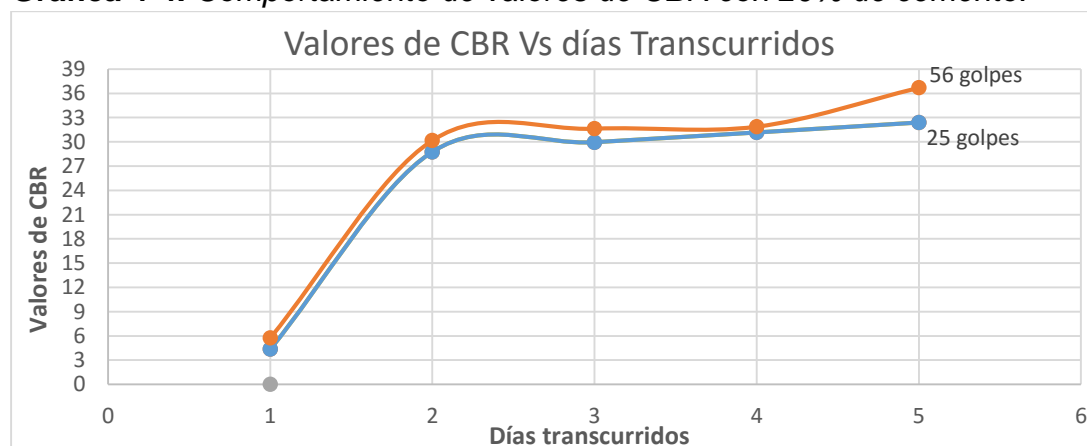
Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla 4-19. Resultados de CBR con 20% de cemento

Especimen	Cemento Canal (%)	Edad (días)	Valor Impacto de Clegg (VIC)			CBR encontrado		
			12 golpes	25 golpes	56 golpes	12 golpes	25 golpes	56 golpes
3 y 4	18	1	No se elaboró	6.80	8.00	No se elaboró	4.36	5.74
3 y 4		2		20.70	21.30		28.75	30.18
3 y 4		3		21.20	21.90		29.94	31.64
3 y 4		4		21.70	22.00		31.15	31.88
3 y 4		5		22.20	23.90		32.38	36.69

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Gráfica 4-4. Comportamiento de valores de CBR con 20% de cemento.



Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Con base en el análisis de las gráficas anteriores, se seleccionó la dosificación que corresponde al 16% de cemento, ya que es la que presenta mayor estabilidad. A continuación se presenta la dosificación de la mezcla y sus propiedades básicas:

Tabla 4-20. Dosificación de suelo-cemento (para 1 m³ de material seco suelto)

Materiales	Por peso para 1 m³	Por volumen para 1 m³
Cemento Canal	167.4 Kg	4.0 bolsas
Material del sitio del proyecto	1,046 Kg	1 m³ suelto
Agua Potable	385 Kg	385 litros
Total	1,625.6 Kg	

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Propiedades básicas para la mezcla:

Contenido de cemento 16%.

Cemento Canal..... 4.0 bolsas/m³.

Humedad Óptima con cemento..... 31.7%.

Densidad Seca Máxima..... 1,368 Kg/m³.

Peso volumétrico seco suelto del material..... 1,046 Kg/m³.

CBR alcanzado..... 21.63 %

Capítulo 5 : Estudio Hidrológico

El estudio hidrológico es necesario para determinar el caudal de diseño en las obras de drenaje. Dicho caudal está en dependencia del tamaño de la hoya y sus características físicas, asimismo, depende del uso de suelo y la tormenta de diseño. El estudio hidrológico se ha dividido según el tamaño de la hoya o cuenca en Métodos para Cuencas Menores y Cuencas Medianas. Esta separación se realiza de acuerdo a las recomendaciones de la documentación especializada, pero entiéndase que no se pretende hacer separaciones absolutas entre los tamaños de las hoyas, de acuerdo a la Guía hidráulica para el diseño de obras de drenaje del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI, 2011).

Una hoya, es determinada área del terreno donde las aguas y los sedimentos drenan hacia un punto en común, es decir, es la superficie de captación que contribuye con escurrimiento hacia el cruce en estudio. La delimitación de la cuenca se realiza en planos topográficos o geodésicos; esta queda determinada por una línea imaginaria (parte aguas) que uno los puntos de mayor elevación, los cuales determinan la dirección del escurrimiento del agua.

Delineado de la hoya: el parte aguas se traza de forma opuesta al trazado de la red hídrica, o sea hacia arriba por el medio de las formas convexas de las curvas de nivel y hacia abajo por el medio de las formas cóncavas de las mismas.

Determinación del área de drenaje: para determinar el área de la hoya existen diferentes métodos pero los más sencillos y más comunes se mencionan a continuación:

- a) Contar las cuadrículas en los planos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) los cuales se encuentran en la escala 1:50,000 y donde cada cuadrícula equivale a 1 km² o sea 100 hectáreas.
- b) Emplear un medidor de áreas en planos (planímetro).
- c) Usar los planos escaneados del INETER en el software AutoCad.
- d) Emplear el Software ArcGis con archivos ASTER GDEM, los cuales se encuentran de manera gratuita en la web. Este método es de los más modernos y además de determinar el área se pueden efectuar otros procedimientos que facilitan la realización del estudio hidrológico.

Una vez se han determinado todas las características físicas de la hoya se procede a la determinación del caudal de diseño.

Existen métodos diversos para calcular la descarga máxima, entre los principales se encuentran el Método del Natural Resources Conservation Service y el Método Racional. El primero se aplica a cuencas mayores de 300 ha. Mientras que el Método Racional es apropiado para cuencas menores. Por lo antes mencionado, en este trabajo se emplea el Método Racional ya que las cuencas que delimitadas son menores de 300 ha.

5.1. Método Racional

El método utilizado para determinar el caudal de diseño (Q_d) de una cuenca pequeña, es el Método Racional, presentado por Emil Kuichling en 1889 y mejorado posteriormente por otros.

Este método asume que el caudal máximo para un cruce dado, se alcanza cuando la totalidad del área tributaria está contribuyendo con su escorrentía superficial durante una duración de precipitación igual al tiempo de concentración.

El Método Racional está representado por la siguiente ecuación:

$$Q_d = \frac{CIA}{360} \quad \text{Ecuación 5 – 1}$$

Donde:

Q_d : caudal de diseño (m^3/s)

C: coeficiente de escorrentía (adimensional)

I: intensidad de lluvia (mm/hora)

A: área de drenaje (hectáreas)

5.1.1. Coeficiente de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía (C) o coeficiente de escurrimiento, representa la relación de lo que escurre a lo que precipita, transforma la lámina de agua en el caudal pico. Su valor depende de elementos como el tipo de suelo, cubierta de suelo, pendiente del terreno y otros factores de menor incidencia. Estos valores se estiman por inspección directa en el campo y complementados por medio de mapas cartográficos.

Tabla 5-1. Coeficientes de escorrentía

Definición	Tipo de cuenca	Valores de C
Negocio	Áreas concentradas	0.70 – 0.95
	Áreas de vecindario	0.50 – 0.70
Residencial	Unifamiliares	0.30 – 0.50
	Multifamiliares separadas	0.40 – 0.60
	Multifamiliares continuas	0.60 – 0.75
	Suburbanas	0.25 – 0.40
	Apartamentos de viviendas	0.50 – 0.70
Industrial	Liviana	0.50 – 0.80
	Pesada	0.60 – 0.90
	Parques, cementerios	0.10 – 0.25
	Área de juegos	0.20 – 0.35
	Patios de ferrocarril	0.20 – 0.40
	Áreas vírgenes	0.10 – 0.30
	Asfaltadas	0.70 – 0.95
Calles	Concreto	0.80 – 0.95
	Ladrillo de concreto	0.70 – 0.85
	Senderos y veredas	0.75 – 0.58
Techos		0.75 – 0.95
Gramas	Suelo arenoso, plano 2%	0.05 – 0.10
	Suelo arenoso, promedio 2 – 7%	0.10 – 0.15
	Suelo arenoso, fuerte 7%	0.15 – 0.20
	Suelo denso, plano 2%	0.13 – 0.17
	Suelo denso, promedio 2 – 7%	0.18 – 0.22
	Suelo denso, fuerte 7%	0.25 – 0.35

Fuente: Chow et al. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá: McGraw Hill.

5.1.2. Intensidad de lluvia.

La intensidad se expresa como el promedio de la lluvia en mm/hora para un período de retorno determinado y una duración igual al del tiempo de concentración (T_c) de la cuenca. El período de retorno es un componente que se impone; es el intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento de lluvia de magnitud I puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio.

Los valores de intensidades de lluvia se pueden obtener a partir de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) o de ecuaciones de ajuste. El ajuste de los datos de intensidades de lluvias por medio del procedimiento estadístico de los mínimos cuadrados resulta en una ecuación del tipo de la ecuación 5-2, en la cual se entra con la duración en minutos y se obtiene la intensidad en mm/hora.

$$I = \frac{A}{(T + d)^b} \quad \text{Ecuación 5 – 2}$$

Donde:

I : Intensidad (mm/hora)

A , d y b : Coeficientes determinados para cada estación meteorológica

T : duración de la lluvia (min); es igual al tiempo de concentración (T_c).

Tiempo de concentración (T_c): es el tiempo en minutos que necesita para viajar una gota de agua desde el punto más alejado de la cuenca hasta el cruce y puede calcularse usando la ecuación de Kirpich-Ramser (Ecuación 5-3)

$$T_c = 0.0078K^{0.77} \quad \text{Ecuación 5 – 3}$$

$$K = \frac{3.28L}{S^{1/2}} \quad \text{Ecuación 5 – 4}$$

$$S = \frac{H}{L} \quad \text{Ecuación 5 – 5}$$

Donde:

L : es la longitud del tramo (m)

H : es la diferencia de elevación entre el punto más alto y el más bajo

S : pendiente promedio de la hoya (m/m)

En hoyas muy pequeñas donde los valores de T_c sean menores a 5 minutos, se puede tomar este valor como mínimo.

5.2. Memoria de Cálculo

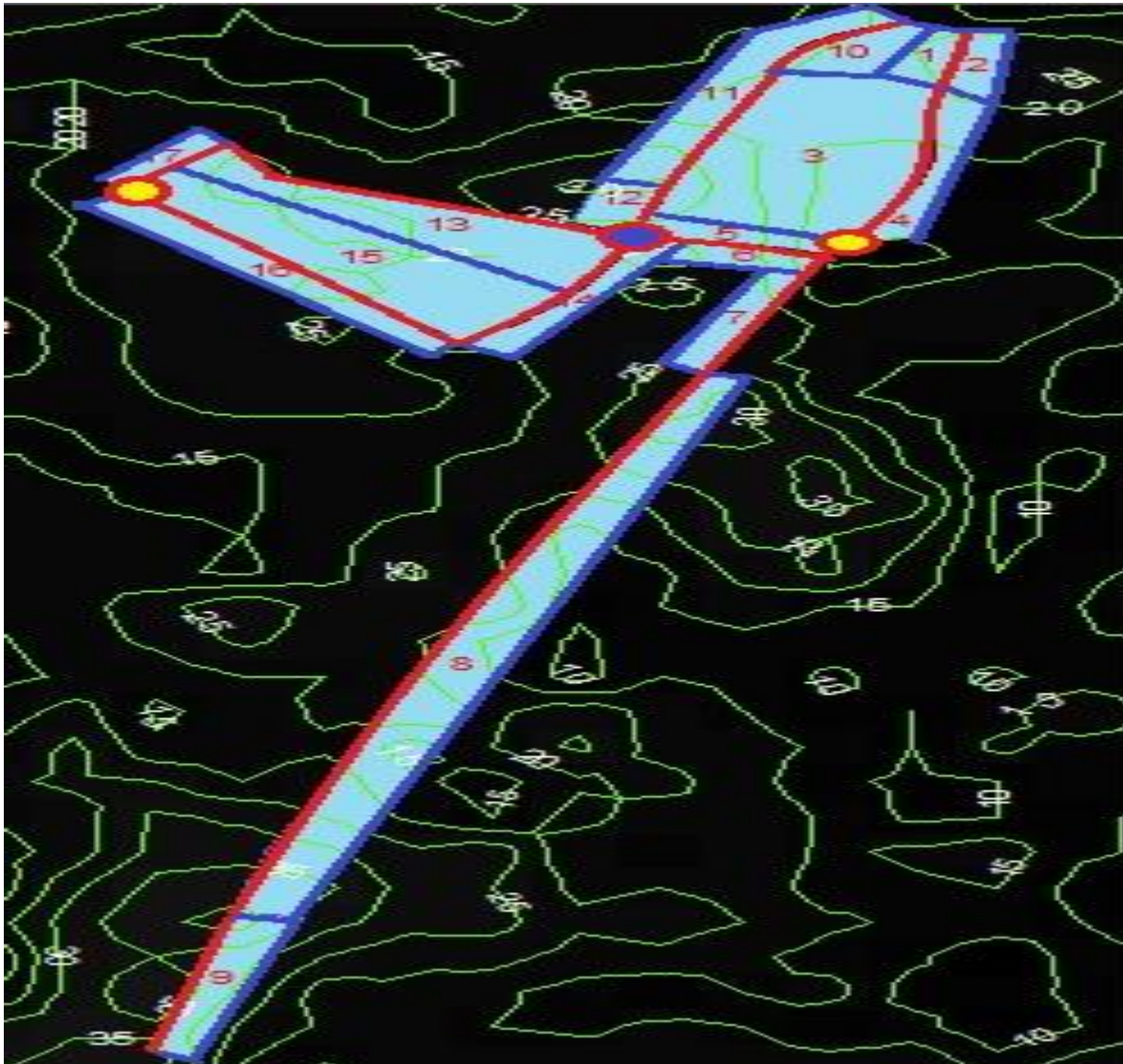
Ahora que ya se conoce el procedimiento para determinar el caudal de diseño se procede a realizar los cálculos del mismo.

Pero antes de iniciar el cálculo de Q_d , es importante mencionar que durante una visita de campo al sitio en estudio se determinaron dos puntos donde la topografía del sitio permite el cambio de las aguas de una cuneta a la otra y esta a su vez al terreno natural; por lo que es necesaria la construcción de obras de drenaje transversal. Las condiciones del terreno permiten el empleo de badén estándar. Se hace mención de esto ya que según los criterios de diseño para estas estructuras, así como también para las cunetas, se debe considerar un periodo de retorno de 2 años. Cabe destacar, que el caudal de diseño es directamente proporcional a la intensidad de lluvia y ésta depende de factores que están en función de este periodo.

En la figura 5-1, se muestran las áreas delimitadas que contribuyen con caudal. Los puntos amarillos representan los sitios donde se propone construir un badén y el punto azul es una intersección de la calle. La línea roja representa el tramo en estudio. En la figura 5 – 2 se muestra un acercamiento.

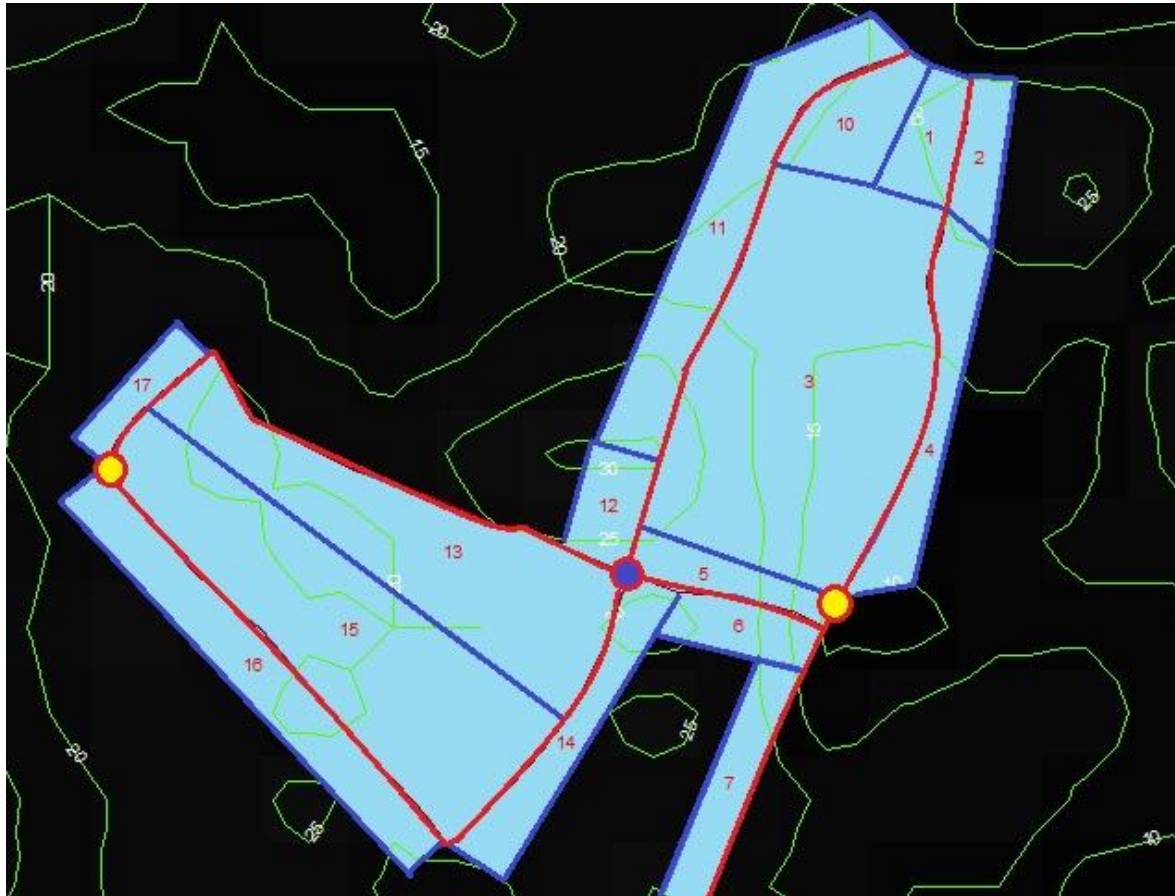
Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Figura 5-1. Áreas que aportan caudal al tramo en estudio



Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Figura 5-2. Áreas que aportan caudal (acercamiento)



Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

En la figura 5 – 2 se puede apreciar como las áreas 3, 4, 5, 6, 7 y 8 aportan caudal al badén que se ubicará en la estación 0+196 del tramo 1. Asimismo, las áreas 12, 13 y 14 aportan con su escorrentía a la intersección (punto azul en la figura) que se encuentra en la estación 0+223 del tramo 2. Por otro lado, las áreas 15, 16 y 17 aportan al badén en la estación 0+516 también del tramo 2. En la Tabla 5 – 2 se muestran detalles de cada una de estas áreas.

Tabla 5-2. Áreas que generan caudal

Tramo	Estación	Ítem	Área (ha)	L (m)	Hmáx	Hmín	S%
1		1	0.0994	50	20	19	2.0
		2	0.0843	50	20	19	2.0
		0+000					
		3	1.0662	146	20	10	6.8
		4	0.1812	146	20	10	6.8
		5	0.1011	72	23	10	18.1
		6	0.0966	72	23	10	18.1
		7	0.0138	95	25	14	11.6
		8	1.2506	505	40	25	3.0
		0+196					
		9	0.2504	124	40	38	1.6
		0+992					
2		10	0.1454	67	20	18	3.0
		11	0.3825	178	30	18	6.7
		0+000					
		12	0.0988	45	30	25	11.1
		13	0.6186	171	20	19	0.6
		14	0.1695	115	25	20	4.3
		0+223					
		15	0.7789	178	25	20	2.8
		16	0.3335	178	25	20	2.8
		17	0.0678	56	20	19	1.8
		0+516					

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Las áreas, longitudes y pendientes expuestas en la tabla anterior fueron obtenidas con la ayuda del software ArcGis. Con estos datos se procede a calcular el tiempo de concentración.

Cálculo de Tiempo de concentración:

Con la ecuación 5 – 4, se tiene que:

$$K_1 = 3.28 (50)/(2/100)^{1/2} = 1159.66$$

Usando la ecuación 5-3, resulta:

$$T_{C1} = 0.0078(1159.66)^{0.77} = 1.78 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

De igual manera se calculan los otros tiempos de concentración

$$K_2 = 3.28 (50)/(2/100)^{1/2} = 1159.66$$

$$T_{C2} = 0.0078(1159.66)^{0.77} = 1.78 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

$$K_3 = 3.28 (146)/(6.8/100)^{1/2} = 1836.42$$

$$T_{C3} = 0.0078(1836.42)^{0.77} = 2.54 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

$$K_4 = 3.28 (146)/(6.8/100)^{1/2} = 1836.42$$

$$T_{C4} = 0.0078(1836.42)^{0.77} = 2.54 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

$$K_5 = 3.28 (72)/(18.1/100)^{1/2} = 555.09$$

$$T_{C5} = 0.0078(555.09)^{0.77} = 1.02 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

$$K_6 = 3.28 (72)/(18.1/100)^{1/2} = 555.09$$

$$T_{C6} = 0.0078(555.09)^{0.77} = 1.02 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

$$K_7 = 3.28 (95)/(11.6/100)^{1/2} = 914.89$$

$$T_{C7} = 0.0078(914.89)^{0.77} = 1.49 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

$$K_8 = 3.28 (505)/(3/100)^{1/2} = 9563.23$$

$$T_{C8} = 0.0078(9563.23)^{0.77} = 9.10 \text{ min}$$

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

$$K_9 = 3.28 (124)/(1.6/100)^{1/2} = 3215.40$$

$$T_{C9} = 0.0078(3215.40)^{0.77} = 3.91 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

$$K_{10} = 3.28 (67)/(3/100)^{1/2} = 1268.78$$

$$T_{C10} = 0.0078(1268.78)^{0.77} = 1.91 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

$$K_{11} = 3.28 (178)/(6.7/100)^{1/2} = 2255.57$$

$$T_{C11} = 0.0078(2255.57)^{0.77} = 2.98 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

$$K_{12} = 3.28 (45)/(11.1/100)^{1/2} = 443.02$$

$$T_{C12} = 0.0078(443.02)^{0.77} = 0.85 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

$$K_{13} = 3.28 (171)/(0.6/100)^{1/2} = 7240.93$$

$$T_{C13} = 0.0078(7240.93)^{0.77} = 7.41 \text{ min}$$

$$K_{14} = 3.28 (115)/(4.3/100)^{1/2} = 1819.02$$

$$T_{C14} = 0.0078(1819.02)^{0.77} = 2.52 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

$$K_{15} = 3.28 (178)/(2.8/100)^{1/2} = 3489.11$$

$$T_{C15} = 0.0078(3489.11)^{0.77} = 4.17 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

$$K_{16} = 3.28 (178)/(2.8/100)^{1/2} = 3489.11$$

$$T_{C16} = 0.0078(3489.11)^{0.77} = 4.17 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

$$K_{17} = 3.28 (56)/(1.8/100)^{1/2} = 1369.07$$

$$T_{C17} = 0.0078(1369.07)^{0.77} = 2.03 < 5 \Rightarrow T_C = 5 \text{ min}$$

Cálculo de Intensidad de Lluvia.

Como se mencionó anteriormente el periodo de retorno para el cual se diseñan tanto badén estándar como cunetas es de 2 años, por esta razón los factores (A, d y b) para calcular la intensidad de lluvia serán los correspondientes a dicho periodo, el cual se muestra en la Tabla 5-3. Esta tabla presenta los factores de la Estación Bluefields, que es la que tiene influencia en la zona en estudio.

La intensidad se calculará con la ecuación 5-2 que resulta del ajuste de datos a través del procedimiento estadístico de los mínimos cuadrados. Pero también, en la figura anexa A-5-1 se incluye la curva IDF (proporcionada por INETER) para una comprobación con el método gráfico, en caso de ser necesario.

Tabla 5-3. Factores para calcular intensidad de lluvia (Estación Bluefields)

Estación	Tr	A	d	B
Bluefields	2	1768.075	15	0.821
Código: 61006	5	994.789	7	0.658
Tipo: HMP	10	1123.062	8	0.649
11°59'20" Lat N	15	919.208	5	0.597
83°46'35" Lon W	25	882.464	4	0.572
Elev: 20	50	858.302	3	0.546
Periodo: 1971-2003	100	832.358	2	0.521

Fuente: *Guía hidráulica para el diseño de obras de drenaje*, MTI (2011).

Para $Tr = 2$ años, de acuerdo a la tabla anterior se tiene:

$$A = 1768.075$$

$$d = 15$$

$$b = 0.821$$

Usando la ecuación 1-2 con $T_c = 5$ minutos, resulta:

$$I = \frac{1768.075}{(5 + 15)^{0.821}} = 151.13 \text{ mm/hora}$$

Para $T_c = 7.41$ minutos:

$$I = \frac{1768.075}{(7.41 + 15)^{0.821}} = 137.77 \text{ mm/hora}$$

Para $T_c = 9.1$ minutos:

$$I = \frac{1768.075}{(9.1 + 15)^{0.821}} = 129.70 \text{ mm/hora}$$

Cabe señalar que se hizo un cálculo de manera general para las intensidades, ya que la mayoría de las micro-hoyas tienen un tiempo de concentración igual a 5 minutos, pero también se realizó el cálculo con los $T_c = 7.4$ y 9.1 minutos, obteniendo intensidades de 137.77 y 129.68 mm/hora respectivamente.

Cálculo de Caudal de diseño (Q_d):

Ahora que ya se han determinado las áreas y se han calculado las intensidades se procede a calcular finalmente el caudal máximo que se generará. Pero antes, es necesario establecer el Coeficiente de escorrentía (C); en base a las observaciones en campo y empleando la Tabla 5 – 1, se determinó $C = 0.6$, ya que el tramo en estudio cuenta principalmente con viviendas multifamiliares, en algunos sectores continuas y en otros separadas.

Conociendo las variables necesarias para determinar el caudal, se usa la ecuación 5 – 1, obteniendo como resultado:

$$Q_{d1} = \frac{0.6 * 151.13 * 0.0994}{360} = 0.0250 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{d2} = \frac{0.6 * 151.13 * 0.0843}{360} = 0.0212 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{d3} = \frac{0.6 * 151.13 * 1.0662}{360} = 0.2686 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{d4} = \frac{0.6 * 151.13 * 0.1812}{360} = 0.0456 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{d5} = \frac{0.6 * 151.13 * 0.1011}{360} = 0.0255 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{d6} = \frac{0.6 * 151.13 * 0.0966}{360} = 0.0243 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{d7} = \frac{0.6 * 151.13 * 0.0138}{360} = 0.0035 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{d8} = \frac{0.6 * 129.68 * 1.2506}{360} = 0.2703 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{d9} = \frac{0.6 * 151.13 * 0.2504}{360} = 0.0631 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

$$Q_{d10} = \frac{0.6 * 151.13 * 0.1454}{360} = \mathbf{0.0366 \, m^3/seg}$$

$$Q_{d11} = \frac{0.6 * 151.13 * 0.3825}{360} = \mathbf{0.0963 \, m^3/seg}$$

$$Q_{d12} = \frac{0.6 * 151.13 * 0.0988}{360} = \mathbf{0.0249 \, m^3/seg}$$

$$Q_{d13} = \frac{0.6 * 137.77 * 0.6186}{360} = \mathbf{0.1421 \, m^3/seg}$$

$$Q_{d14} = \frac{0.6 * 151.13 * 0.1695}{360} = \mathbf{0.0427 \, m^3/seg}$$

$$Q_{d15} = \frac{0.6 * 151.13 * 0.7789}{360} = \mathbf{0.1962 \, m^3/seg}$$

$$Q_{d16} = \frac{0.6 * 151.13 * 0.3335}{360} = \mathbf{0.0840 \, m^3/seg}$$

$$Q_{d17} = \frac{0.6 * 151.13 * 0.0678}{360} = \mathbf{0.0171 \, m^3/seg}$$

En la siguiente tabla se presentan los caudales de diseño para cada tramo y en resumen el resultado del estudio hidrológico.

Tabla 5-4. Resultado de estudio hidrológico

Tramo	Estación	Área (ha)	L (m)	H _{máx}	H _{mín}	S%	T _c (min)	I (mm/hora)	C	Q _d (m ³ /seg)
1		0.0994	50	20	19	2.0	5.0	151.13	0.6	0.0250
		0.0843	50	20	19	2.0	5.0	151.13	0.6	0.0212
	0+000									0.0463
		1.0662	146	20	10	6.8	5.0	151.13	0.6	0.2686
		0.1812	146	20	10	6.8	5.0	151.13	0.6	0.0456
		0.1011	72	23	10	18.1	5.0	151.13	0.6	0.0255
		0.0966	72	23	10	18.1	5.0	151.13	0.6	0.0243
		0.0138	95	25	14	11.6	5.0	151.13	0.6	0.0035
		1.2506	505	40	25	3.0	9.1	129.70	0.6	0.2703
	0+196									0.6378
		0.2504	124	40	38	1.6	5.0	151.13	0.6	0.0631
	0+992									0.0631
2		0.1454	67	20	18	3.0	5.0	151.13	0.6	0.0366
		0.3825	178	30	18	6.7	5.0	151.13	0.6	0.0963
	0+000									0.1330
		0.0988	45	30	25	11.1	5.0	151.13	0.6	0.0249
		0.6186	171	20	19	0.6	7.4	137.77	0.6	0.1421
		0.1695	115	25	20	4.3	5.0	151.13	0.6	0.0427
	0+223									0.2096
		0.7789	178	25	20	2.8	5.0	151.13	0.6	0.1962
		0.3335	178	25	20	2.8	5.0	151.13	0.6	0.0840
		0.0678	56	20	19	1.8	5.0	151.13	0.6	0.0171
	0+516									0.2973

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

A través del estudio hidrológico se pudo terminar que el caudal acumulado no es muy grande porque la topografía del terreno permite que la mayor del agua drene hacia zonas adyacentes y no a la carretera. En la tabla anterior se puede apreciar que el caudal máximo se genera en la estación 0+196. Con base en este resultado, las estructuras de drenaje tanto transversal como longitudinal serán dimensionadas con este caudal (**0.6378 m³/seg**).

Capítulo 6 : Diseño Estructural del Pavimento

1.4. Método AASHTO 93

6.1.1. Diseño de pavimento semi-rígido.

El método de Diseño de Estructuras de Pavimento Flexible de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1993), describe con detalle los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles y rígidos de carreteras. En el caso de los pavimentos flexibles, el método asume que tales estructuras soportarán niveles significativos de tránsito (mayores de 50,000 ejes equivalentes acumulados de 8.2 ton durante el período de diseño), dejando fuera pavimentos ligeros para tránsitos menores al citado, como son los caminos revestidos o de terracería (Rico et al, 2000).

$$\log_{10}W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) + 0.20 + \frac{\log_{10}(\Delta PSI)}{0.40 + \frac{4.2 - 1.50}{1094}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

Ecuación 6-1

Esta ecuación es meramente para el diseño de pavimentos flexibles y semi-rígidos.

Donde:

W_{18klb} : Numero previsto de aplicaciones de carga por eje simple equivalente a 18Klb.

Z_R : Desviación Normal Estándar.

S_0 : Error estandar combinado de la predicción del trafico y de la predicción del comportamiento de la estructura.

ΔPSI : Diferencia entre el Indice de Serviciabilidad Inicial de Diseño (P_0), y el Indice de Serviciabilidad Terminal de Diseño (P_T).

M_R : Modulo Resiliente (psi).

SN : Numero Estructural.

6.1.2. Diseño de Estructura de Pavimento Rígido.

El manual de Diseño de Estructuras de Pavimento Rígido (AASHTO, 1993) señala que el diseño del pavimento rígido, al igual que el diseño del pavimento flexible y semi-rígido, involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de Serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera.

Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio. La Ecuación Básica para el Diseño de Pavimento Rígido es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18klb} = Z_R \cdot S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{(1.624 \times 10^7)}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) * \log_{10}\left(\frac{S'_c * C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 * J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0.25}}\right)}\right) \quad \text{Ecuación 6-2}$$

Donde:

W_{18klb} : Numero previsto de aplicaciones de carga por eje simple equivalente a 18Klb.

Z_R : Desviación estándar normal.

S_0 : Error estándar combinado en la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento.

D = Espesor (en pulgadas) de la losa del pavimento.

ΔPSI = Diferencia entre los índices de Serviciabilidad inicial (P_0) y final (P_t).

P_0 : Índice de Serviciabilidad Inicial.

P_t : Índice de Serviciabilidad final.

S'_c : Módulo de rotura (psi) para concreto de cemento portland usado en un proyecto específico.

C_d : Coeficiente de drenaje.

J = coeficiente de transmisión de carga en las juntas.

E_c : Módulo de elasticidad del concreto, en Mpa.

K = módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, sub-base o sub-rasante), en la que se apoya el pavimento de concreto.

ESAL 'S de diseño (Ejes equivalentes).

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil (SIECA, 2002). Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes y que para efectos de cálculo se les transforma en un número de ejes equivalentes de 80 KN o 18 Kips², por lo que se le denominará ESAL's (ejes equivalentes).

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen a su vez diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; los diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales, responden en igual forma de diferente manera a igual carga. Como estas cargas producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas

tendrán que ser distintas. Para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de una determinada carga, que a su vez producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto de los vehículos. Esta carga uniformizada según AASTHO es de 80 kN o 18 Kips y la conversión se hace a través de los Factores Equivalentes de Carga LEF (Load Equivalent Factor).

Índice de Serviciabilidad de un pavimento.

Según se encuentra descrito en el Manual de Diseño de Pavimentos, SIECA (2002), es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo. En otras palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de Serviciabilidad inicial, que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 (Perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de Serviciabilidad final que depende de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del proyectista, con un valor de 0 (pésimas condiciones). A la diferencia entre estos dos valores se le conoce como la pérdida de Serviciabilidad Δ (PSI) o sea el índice de Serviciabilidad presente (Present Serviciability index).

Los valores que se recomiendan de acuerdo al tipo de pavimento son los siguientes:

Tabla 6-1. Índice de Serviciabilidad recomendados

Índices de Serviciabilidad		
Serviciabilidad Inicial (Po)	Pavimentos Rígidos	4.5
	Pavimentos Flexibles o articulados	4.2
Serviciabilidad Final (Pt)	Camino Principales	2.5 o mas
	Caminos de Tránsito Menor	2.0

Fuente: *Guía para el diseño de pavimentos*, AASHTO (1993).

El índice de Serviciabilidad de un pavimento, es un valor de apreciación con el cual se evalúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento.

Por lo anteriormente expuesto, el Factor Equivalente de Carga (LEF'S), es el valor numérico que expresa la relación entre la perdida de Serviciabilidad causada por la carga de un tipo de carga de 80 KN y la producida por un eje estándar en el mismo eje. Lo anteriormente dicho se expresa así:

$$LEF'S = \frac{\text{Número de ESAL'S de 80 KN}}{\text{Número de ejes de 80 KN}} \quad \text{Ecuación 6-3}$$

Como cada tipo de pavimento responde de manera diferente a una carga, los LEF's también cambian en función del tipo de pavimento. Por lo que, los pavimentos rígidos y flexibles tienen diferentes LEF's y que también cambia según el SN (número estructural)

en pavimentos flexibles y según el espesor de la losa en pavimentos rígidos, además que también cambia según el valor del índice de Serviciabilidad asumido para el diseño (AASHTO, 1993).

Entonces, para calcular los ESAL's que se aplicarán a una estructura de pavimento es necesario asumir en primera instancia, para pavimentos flexibles el número estructural (SN) que se considere adecuado a las cargas y para pavimentos rígidos el espesor de la losa que se necesita para las cargas que se van a imponer; también se tendrá que asumir el índice de Serviciabilidad final aceptable, de acuerdo con los programas de mantenimiento que se considere necesario según el tipo de carretera.

La tabla A-10 de anexos, indica los diferentes LEF'S para distintos tipos de cargas por eje, por tipo de pavimento y distintos índices de Serviciabilidad según número estructural SN, de los pavimentos.

Desviación Normal Estándar (Z_R).

Es la medida de dispersión para las variables cuantitativas. En el caso de los pavimentos flexibles está influenciada por la confiabilidad "R" que determina el grado de seguridad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su periodo de diseño en buenas condiciones. Se determina al considerar un grado de Confiabilidad "R" adecuado.

Tabla 6-2. *Desviación estándar en función de la confiabilidad*

Valores Zr en Función de la Confiabilidad R			
Confiabilidad R (%)	Desviación Normal Estándar Zr	Confiabilidad R (%)	Desviación Normal Estándar Zr
50	0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090
92	-1.405	99.99	-3.750

Fuente: *Guía para el diseño de pavimentos*, AASHTO (1993).

Error Estándar Combinado (S_0).

El conjunto total del Error Estándar Combinado representa la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir, el número de ejes que puede soportar un pavimento hasta que su índice de Serviciabilidad descienda por debajo de un determinado P_T (Índice de Serviciabilidad Final); está comprendido para los siguientes intervalos con el tipo de construcción que se pretende realizar, se muestran a continuación:

Tabla 6-3. *Desviación estándar para pavimentos*

	Descripción	Valores de S_0
Pavimentos Rígidos	Pavimentos Rígidos	0.35 – 0.39
	Construcción nueva	0.35
	Sobrecapas	0.39
Pavimentos Flexibles	Pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
	Construcción nueva	0.35 – 0.40
	Sobrecapas	0.50

Fuente: *Guía para el diseño de pavimentos*, AASHTO (1993).

Módulo resiliente en el diseño de pavimentos flexibles o semi-rígidos.

En la Guía de diseño AASHTO 1993, el módulo resiliente reemplaza al CBR como variable para caracterizar la sub-rasante, sub-base y base. En el método AASHTO deben usarse valores medios resultantes de los ensayos de laboratorio dado que las

incertidumbres son tomadas en cuenta en la confiabilidad R. Es importante utilizar valores a la densidad y contenido de humedad que los suelos desarrollarán cuando se encuentren en servicio.

El diseño de pavimentos flexibles es extremadamente sensible a esta variable y por tanto debe ser estudiada y definida con el mayor cuidado.

El procedimiento de diseño requiere de la introducción de un valor "efectivo", que considere el efecto combinado de todos los módulos estacionales que se producen a lo largo del año por diferentes condiciones de humedad.

Módulo de reacción de la sub-rasante (K) en el diseño de pavimentos rígidos.

El módulo resiliente puede ser utilizado directamente para el diseño de pavimentos flexibles, pero debe ser convertido a un módulo de reacción de la sub-rasante (k), para el diseño de pavimentos rígidos o compuestos.

Este factor da una idea de cuánto se asienta la sub-rasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci). Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere tiempo y es costosa, el valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la razón de soporte california (CBR) o las pruebas de valores R.

El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k; las variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento.

Numero Estructural.

El SN es un numero abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido, para una combinación dada de soporte del suelo M_R , del tránsito total (W_{18}), de la Serviciabilidad terminal y, de las condiciones ambientales.

Espesor Tentativo D.

Es el valor del espesor tentativo de la capa de rodamiento que brinde el equilibrio de la ecuación básica de diseño de pavimento rígido para la AASHTO 1993.

Módulo de Rotura (S'c).

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia

a la tracción del concreto por flexión. El módulo de rotura se puede determinar por medio de ensayos de laboratorio, pero también a través de la siguiente correlación:

Estimación a través de la resistencia de compresión del concreto.

$$S'_c = k * (f'_c)^{0.5} \quad 7 < k < 12;$$

Donde: f'_c : resistencia a compresión del concreto (psi).

Los módulos de rotura varían entre 400 psi y 700 psi, llegando incluso a valores de 1200 psi, en concreto. Para el diseño del pavimento rígido se usará un módulo de ruptura de 650 psi (45 Kg/cm²).

Módulo de elasticidad del concreto (E_c).

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación.

Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto.

En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura.

El Módulo de elasticidad del concreto, se utiliza en las estimaciones de espesores de losa de concreto y su valor se determina tomando en cuenta las especificaciones del ACI 318, el cual da la siguiente ecuación:

$$E_c = W_c^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f'_c}$$

Donde:

f'_c = Resistencia especificada a la compresión (245 kg/cm² para este caso).

E_c = Módulo de elasticidad del concreto en MPA

W_c = Densidad del concreto en kg/m³.

$$E_c = (2400)^{1.5} * 0.043 * (24.13145)^{0.5} = 117,575.51 * 4.912 * 0.043 = 24,833.83 \text{ MPA}$$

$E_c = 3,601,843 \text{ PSI}$ (aplicable al diseño del pavimento rígido de este proyecto).

Coeficiente de Drenaje (Cd).

El proceso mediante el cual el agua de infiltración superficial o agua de filtración subterránea es removida de los suelos y rocas por medios naturales o artificiales, se llama drenaje. El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de pavimentos.

El agua es el causante principal del deterioro de la estructura del pavimento, porque origina muchos efectos devastadores en él; siendo el peor, la pérdida de soporte del pavimento.

Tabla 6-4. Coeficientes de drenaje para pavimentos rígidos

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Fuente: *Guía para el diseño de pavimentos*, AASHTO (1993).

Tabla 6-5. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: *Guía para el diseño de pavimentos*, AASHTO (1993).

Coeficiente de Transmisión de Carga (J).

Las cargas de tránsito deben ser transmitidas de una manera eficiente de una losa a la siguiente para minimizar las deflexiones en las juntas. Las deflexiones excesivas producen bombeo de la sub-base y posteriormente rotura de la losa de concreto.

La capacidad de una estructura de pavimento de concreto para transferir (distribuir) cargas a través de juntas o grietas es tomado en cuenta en el método AASHTO 93 por medio del coeficiente de transferencia de carga J. Los dispositivos de transferencia de carga, trabazón de agregados y la presencia de bermas de concreto tienen efecto sobre éste valor. La tabla siguiente establece rangos de los coeficientes de transferencia de carga para diferentes condiciones desarrolladas a partir de la experiencia y del análisis mecánico de esfuerzos.

En este caso se usará **4.0** (tomado de la tabla 6-6), como coeficiente de transmisión de carga, correspondiente a un elemento de transmisión de carga de concreto asfáltico, haciendo referencia de que es solo la cuneta que lleva a ambos lados (sin hombros); sin embargo llevará juntas de contracción que funcionarán por medio de la trabazón entre los agregados que componen el pavimento.

Tabla 6-6. Coeficientes de transferencia de cargas

Tipo de pavimento	Hombro			
	Elemento de transmisión de carga			
	Concreto asfáltico		Concreto hidráulico	
	Sí	No	Sí	No
Reforzado o no reforzado con juntas	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Reforzado continuo	2.9 – 3.2	---	2.3 – 2.9	---

Fuente: *Guía para el diseño de pavimentos*, AASHTO (1993).

Factor de Pérdida de Soporte LS.

Este factor, LS (loss of support = pérdida de soporte) es incluido en el diseño de pavimentos rígidos para tomar en cuenta la pérdida potencial de soporte proveniente de la erosión de la sub-base y/o movimientos diferenciales verticales del suelo.

Sin embargo, la AASHTO 97 indica que no se debería usar un factor de pérdida de soporte, ya que los pavimentos de AASHTO Road Test fallaron justamente por bombeo de finos, de manera que este efecto se encuentra ya en las ecuaciones de diseño, pero las correcciones por efecto de base proporcionan valores irrealmente altos en relación con los medidos mediante estudios de deflexiones, motivo por el cual no se recomienda su aplicación directa.

Es por tal razón que para el diseño del pavimento rígido se usara la unidad para que ese efecto que ya es considerado no se duplique en gran medida. La tabla siguiente muestra los valores recomendados de acuerdo al tipo de material:

Tabla 6-7. Perdida de soporte

Tipo de Material	Módulo de elasticidad o módulo resiliente (psi)	Perdida de Soporte
Base Granular tratada con Cemento	1000000 – 2000000	0.00 - 1.00
Mezclas de Agregados con Cemento	500000 – 1000000	0.00 - 1.00
Bases Tratadas con Asfalto	350000 – 1000000	0.00 - 1.00
Mezclas Bituminosas Estabilizadas	40000 – 300000	0.00 - 1.00
Estabilizados con Cal	20000 – 70000	1.00 - 3.00
Materiales Granulares sin ligante	15000 – 45000	1.00 - 3.00
Materiales Granulares Finos o Sub-rasante Natural	3000 – 40000	2.00 - 3.00

Fuente: *Guía para el diseño de pavimentos*, AASHTO (1993).

1.5. Memoria de cálculo

Es importante mencionar que como se trata de dos tramos, que según la propuesta también son dos tipos de pavimentos los que se aplicarán, algunos de los parámetros de diseño calculados en este acápite, serán aplicados para ambos pavimentos; como por ejemplo, los ESAL's de diseño, Módulo de Resiliencia de la sub-rasante, etc., por lo que no se hará mención más de una vez; además, los otros parámetros se calcularán de forma independiente.

El número estructural se determinó de la siguiente manera:

- 1) Primero se calculó los ESAL's de 18klb proyectados para el periodo de Diseño. Los resultados se presenta en la siguiente tabla 6-8.

Tabla 6-8. Determinación del ESAL's de diseño

Tipo de Vehículo	Peso Por Eje (lb)	Tránsito Actual	Factor de Crecimiento	Tránsito de Diseño	Factor ESAL's Tabla Pt=2.	E.S.A.L. de Diseño	Factor de dirección	Factor de carril	ESAL's por carril de tránsito
V. DE PASAJEROS			5%						
Automóviles	2000	2	33.0659541	24,138.146	0.0002	4.83	0.50	1.00	627327.4962
	2000				0.0002	4.83			
Jeep	4000	11	33.0659541	132,759.806	0.0020	265.52			
	4000				0.0020	265.52			
Camioneta	2000	102	33.0659541	1231,045.471	0.0002	246.21			
	4000				0.0020	2,462.09			
Microbus	4000	1	33.0659541	12,069.073	0.0020	24.14			
	6000				0.0090	108.62			
Bus	8000	10	33.0659541	120,690.732	0.0310	3,741.41			
	18000				1.0000	120,690.73			
V. DE CARGA (C. EJES SIMPLES)			5%						
Liv. De carga	4000	22	33.0659541	265,519.611	0.0020	531.04			
	10000				0.0790	20,976.05			
C2	10000	48	33.0659541	579,315.516	0.0790	45,765.93			
	20000				1.5700	909,525.36			
C3	12000	8	33.0659541	96,552.586	0.1740	16,800.15			
	36000				1.3800	133,242.57			
OTROS									
Motos		1090							
Otros		82							
Totales		204		2462,090.94		1254,654.99	0.50	1.00	627327.4962

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

- 2) Por medio de consideraciones generales se asumió una **Confiabilidad “R”** y de esta manera obtener la Desviación Normal Estándar mediante la Tabla 6-2 antes mencionada. Se hicieron las siguientes consideraciones:

En vista de que se trata de dos sub-tramos de vía, donde uno de ellos es completamente principal y el otro, aunque está paralelo al primero, se considerará como secundario; entonces, según la clasificación funcional de cada una de las calles consideradas se puede decir que, el primero se ubica en la categoría de carreteras **colectoras** y la segunda como **locales**, lo cual permite considerar dos porcentaje de confiabilidad, que dicho fuera de paso, también en la propuesta se trata de dos tipos de pavimentos, rígido y articulado, en la zona urbana del municipio de El Tortuguero.

Para el primer tramo (T1), se eligió un porcentaje de confiabilidad de 90% y para el segundo (T2), de 80%. Ver tabla 6-9 (porcentaje de confiabilidad de las carreteras según su funcionalidad).

Además de acuerdo a la tabla 1-3, se estableció un error estándar combinado (So) en base a la categoría del tipo de pavimento:

Tramo 1 (T1): Pavimento Rígido (0.35 – 0.39); se usará el valor = **0.35**

Tramo 2 (T2): Pavimento semi-rígido (0.40 – 0.50); se usará el promedio = **0.45**

Tabla 6-9. Valores de confiabilidad recomendada

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: *Guía para el diseño de pavimentos*, AASHTO (1993).

- 3) Calcular el módulo resiliente (M_R) para el tramo 1 (T1), que según la propuesta será pavimento rígido y, el módulo de reacción de la sub-rasante (K) para el tramo 1 (T1), que se trata de un pavimento rígido. El módulo resiliente es un dato que se obtiene de las propiedades de la sub-rasante o terreno de cimentación. Para calcular el módulo resiliente para la sub-rasante a partir del CBR se usará la ecuación empírica siguiente:

$$M_R = 4326 * \ln CBR + 241 \rightarrow \text{Para suelos granulares}; \quad \text{Ecuación 6-3}$$

Es importante mencionar que esta ecuación hace referencia a suelos granulares, pero es por la simple razón de que normalmente las sub-rasantes presentan CBR menores que 20 y dicha ecuación es para CBR que están por arriba de este valor, y que normalmente solo los suelos granulares presentan este tipo de resultados, pero se usará aquí por ser un suelo mejorado con suelo-cemento, lo que da como resultado CBR mayores que 20. Este valor será usado para los dos sub-tramos de calles mencionados anteriormente.

$$M_R = 4326 * \ln(21.63) + 241 = 13,540 \text{ PSI}$$

- 4) Se determinó la pérdida de Serviciabilidad, donde se usaron los datos de la Tabla 6-1, de la forma siguiente:

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad \text{Ecuación 6-4}$$

Donde:

$P_o = 4.5$; $P_t = 2.0$; para el tramo 1 (T1), que es pavimento rígido.

$P_o = 4.2$; $P_t = 2.0$; para el tramo 2 (T2), que es pavimento semi-rígido.

$$\Delta PSI_{T1} = 4.5 - 2.0 = 2.5 \rightarrow \text{para el pavimento rígido.}$$

$$\Delta PSI_{T2} = 4.2 - 2.0 = 2.2 \rightarrow \text{para el pavimento semi-rígido.}$$

- 5) Habiendo calculado los datos anteriores se procedió a calcular los parámetros siguientes para al final hacer el cálculo del número estructural para el tramo que se propuso pavimento semi-rígido (adoquinado).

Coeficiente de drenaje (Cd)

Con base en las tablas 6-4 y 6-5 de este documento, y considerando un buen drenaje de las capas granulares y a su vez un porcentaje de tiempo mayor al 25% que dichas capas están propensas a alcanzar el 50% de saturación. Por lo anteriormente dicho, se asumió un coeficiente de drenaje de **1.0** para ambos sub-tramos de este diseño.

6.1.3. Diseño para el Tramo 1 (T1)-Pavimento Rígido.

Determinación del módulo de reacción de la sub-rasante de la siguiente forma:

Es importante mencionar que para la determinación del módulo de reacción corregido de la sub-rasante, se hizo uso en gran parte de los nomogramas que aparecen en los anexos y que aquí se harán mención de cada uno de ellos de acuerdo a su secuencia de uso.

- a. Primeramente se propuso un valor tentativo del espesor D para la capa de sub-base de 8"=20 cm y con el nomograma de la gráfica anexa A-6-1 se determinó un valor de K combinado cuando se considera un estrato rígido a más de 3 metros de profundidad; este valor dio igual a **Mk ∞ = 700 pci**.
- b. Posteriormente se consideró el efecto de una capa rígida a una profundidad menor a 3 metros, para este caso se consideró 2 metros, ya que a los 1.5 metros (5 pie) de los sondeos manuales, aun no se encontró estrato rígido. Mediante el uso del nomograma aplicable a esta explicación (ver grafica anexa A-6-2), el valor de K combinado considerando un estrato rígido a una profundidad de 2 metros, da como resultado **Mk1=800 pci**.
- c. Luego, usando la tabla 6-7 de este acápite, y de acuerdo al tipo de material para que se propone para sub-base y, considerando que no se quiere duplicar el efecto de la perdida de soporte como se mencionó anteriormente, entonces se propuso **LS=1.0**; para luego usar el nomograma de la figura anexa A-6-3 y así determinar el módulo de reacción de la sub-rasante efectivo usando el modulo compuesto para una posible capa rígida a menos de 3 metros desde la superficie, y de acuerdo a los pasos a seguir se obtuvo un **K-efectivo= 230 pci**.

Tabla 6-10. Variables de diseño para el pavimento rígido

Datos de diseño del pavimento rígido con CBR=21.63% de la sub-rasante mejorada		
Índice de confiabilidad	90	Guía AASHTO 93
Índice de servicio inicial Po	4.5	4.2 – 4.5
Índice de servicio final Pf	2.5	2 – 2.5
Índice de servicio de diseño ΔPSI	2.0	P0 – pt
Coeficiente de drenaje	1	1
Desviación estándar so	0.35	0.3 – 0.4
Desviación estándar normal zr	-1.282	
ESAL's de diseño	0.627E6	
CBR de diseño sub-rasante	21.63	
Módulo resiliente Mr (psi)	13,539	
Periodo de diseño (años)	20	
Coeficiente de transmisión de carga J	4.0	3.8 – 4.2
Módulo de elasticidad del concreto Ec (psi)	3, 601, 843	
Módulo de ruptura del concreto a flexión S'c (psi)	650	
Módulo de reacción efectivo de sub-rasante Mk (psi)	230	
Módulo de elasticidad de sub-base granular E (psi)	20,000	
CBR de sub-base granular	58.27	

Fuente: Elaboración propia. (2016).

Haciendo uso de la ecuación de diseño para pavimentos rígidos y con los datos de la tabla 6-10 (anterior), se determinó el D del pavimento, de la forma siguiente:

$$\log_{10}(627,327.5) = (-1.282) * (0.35) + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{2.5}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{(1.624 \times 10^7)}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 * (2.0)) * \log_{10}\left(\frac{650 * 1 * (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 * 4.0 * \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{3,601,843}{230}\right)^{0.25}}\right)}\right)$$

Resolviendo la ecuación, da un diámetro para la losa de pavimento de: D=6.32" (16 centímetros).

Sin embargo, para comprobar este resultado se hizo uso de los nomogramas de las figuras anexas A-6-4 y A-6-5, donde haciendo uso de los datos encontrados en la tabla 6-10 e interceptando cada valor correspondiente a lo establecido en los nomogramas, también se encontró un valor para el diámetro de la carpeta de rodamiento D=6.32" (16 centímetros aproximadamente)

Tabla 6-11. *Diseño final para el tramo 1 (T1)-Concreto hidráulico*

RESULTADOS		
CAPA	ESPESOR DE CAPAS (CM)	DESCRIPCIÓN
Losa de concreto rígida	16	245 Kg/cm ²
Sub-base	20	Material del banco de préstamo, ubicado en la comunidad de Belén, a 5.5 Km del casco urbano del municipio de El Tortuguero, RACCS. Sub-base Compactada al 98%, Proctor Estándar. Tipo de material A-1-a (0).
Espesor total	36	

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Dimensionamiento de losas.

El concreto hidráulico como superficie de rodadura, se encuentra sujeto a diferentes esfuerzos, entre los cuales se encuentran: cargas de tránsito, contracción y expansión del concreto (el concreto al endurecer ocupa menos volumen que cuando está fresco) y diferencias de temperatura o humedad entre la fibra superior y la inferior, entre otras. Con el fin de contrarrestar estos esfuerzos, no es suficiente el proporcionar un espesor adecuado, sino proyectar juntas longitudinales y transversales que impiden una fisuración temprana del concreto, estas juntas deben estar diseñadas técnicamente, por lo cual en este documento se emplearan las consideraciones aplicables al diseño de pavimentos de Nicaragua, las cuales son las siguientes:

1. En función del espesor, la longitud de la losa deber ser menor a 25 veces el espesor. $S_{JT} < 24 D$.

S_{JT} = Separación de juntas transversales en cm.

D = Espesor de la losa en cm.

2. En función de la esbeltez, donde la relación entre la longitud y el ancho de la losa debe estar entre 0.8 y 1.2.

Para este diseño de pavimento se propondrá la sección de losa que se detalla a continuación:

Considerando que la calle tiene un ancho total de 6 metros tomando en cuenta el ancho del caite a ambos lados de la calle (0.30 m). Se diseñarán tres juntas longitudinales, dividiendo cada carril de circulación por la mitad.

Juntas longitudinales

Ancho de cada carril de circulación: 3.0 metros, considerando 0.30 metros del caite, para aplicar la simetría de las juntas en la sección del carril; entonces:

$3.0/2=1.5$ m de separación entre juntas longitudinales.

Juntas transversales;

D= 16 centímetros

$S_{JT} < 25$ (16)= 400 centímetros; por tanto el largo de la losa (separación entre juntas transversales), será de **1.80** metros. Esto con el fin de cumplir con la segunda condición, mencionada anteriormente.

Comprobando la esbeltez de la losa, se tiene:

$1.8/1.5= 1.20$, lo cual cumple la condición.

Por lo anterior, se puede afirmar que la dimensión de cada una de las losas será de **1.50 x 1.80 metros**.

6.1.4. Diseño para el Tramo 2 (T2)-Pavimento Semi-Rígido.

Tabla 6-12. Variables de diseño para el pavimento semi-rígido (AASHTO 93)

DATOS	VALOR	Guía AASHTO 93	Observación
De la línea de la vía			
Índice de confiabilidad (%)	80	50 - 80	Tipo Local
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.2	4.2 - 4.4	
Serviciabilidad Final (Pt)	2.0	2.0 - 2.2	
Pérdida de Servicios (ΔPSI)	2.2	4.2 - 2.0	
Desviación estándar combinada (So)	0.45	0.40 - 0.50	
Módulo de Resiliencia de la Sub-rasante (Mr)	13,540	$4326 \cdot \ln CBR + 241$	CBR>20
Período de diseño en años	20		Const. Nueva
Ejes Equivalentes a 18 Kips (millones)	0.627E6		
CBR de la sub-rasante (%)	21.63		Suelo-Cemento
Módulo de elasticidad del pavimento (PSI)	450,000.0		
Del material del banco de préstamo			
CBR de la base (%)	58.27		Se usará el mismo Banco de préstamo
CBR de la sub-base (%)	58.27		

Fuente: *Elaboración propia*. (2016).

A continuación se usan los nomogramas de las figuras anexas A-6-6, A-6-7, A-6-8, para calcular los coeficientes estructurales a_1 , a_2 y a_3 , respectivamente; posteriormente se usó el nomograma de la figura anexa A-6-9, para determinar los números estructurales, como se detalla aquí:

Paso 1: Determinar el a_1 , de acuerdo al módulo de elasticidad considerado para el tipo de pavimento; cabe señalar que este grafica es meramente para el diseño de pavimentos flexibles, pero aquí se usará para el diseño de pavimento semi-rígido, en vista de que sus comportamientos son similares.

Según la Guía AASHTO 93, para este tipo de pavimento se recomienda utilizar valores no mayores a los 450,000 PSI para el módulo de elasticidad. En este caso el coeficiente a_1 , según la figura A-6-6 da 0.45 (ver anexos).

Paso 2: Establecer el coeficiente de capa a_2 , usando el ábaco de la figura anexa A-6-7; donde mediante el uso del módulo resiliente de las bases trituradas o granulares, con el CBR de la base de 58.27%, se traza una línea horizontal desde la línea vertical del lado extremo derecho hasta intersectar la línea vertical del extremo izquierdo, lo cual da como resultado un valor para el coeficiente de capa, **$a_2= 0.122$** y un **$M_r= 26,200$ psi** (Ver anexos).

Paso 3: Determinar el valor del coeficiente de capa a_3 y el Módulo de Resiliencia de la sub-base. El CBR de la sub-base es, igual al CBR de la capa base, 58.27, ya que se usará el mismo banco, aunque se velará con lo que respecta a su granulometría. Para este caso se usará el ábaco de la figura anexa A-6-8. Donde resultan valores de **$a_3= 0.126$** y un **$M_r=17,700$ psi**

De acuerdo a los Módulos de Resiliencia (MR) se obtuvieron los **Números Estructurales de diseño (SN)**, utilizando el ábaco de la figura anexa A-6-9. Los resultados son los siguientes:

Para el Modulo de Resiliencia de la sub-rasante (**13,540 psi**), resulta un **$SN_3=2.45$** (para proteger la sub-rasante).

Para la capa de sub-base con Modulo de Resiliencia de **17,700 psi** resulta un **$SN_2=2.17$** (para proteger la capa sub-base).

Por último, para la base con Modulo de Resiliencia de **26,200 psi** resulta un **$SN_1=1.78$** (para proteger la capa base).

Una vez determinado el Numero Estructural se busca un conjunto de espesores que convenientemente combinados proporcionen la capacidad portante correspondiente a ese número estructural (SN), calculado por la formula ya descrita.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad \text{Ecuación 6-5}$$

a_i : Coeficientes estructurales de las capas de rodadura, base y sub-base.

D_i : Espesor, en pulgadas, de las capas de rodadura, base y sub-base.

m_i : Coeficiente de drenaje de las capas base y sub-base.

Esta fórmula tiene muchas soluciones en función de las diferentes combinaciones de espesores; no obstante las normativas de cada país que tienden a dar espesores de capas que deben ser construidas y protegidas de deformaciones permanentes.

Conociendo los datos de números estructurales, se procede a calcular el espesor de las distintas capas que conformarán el pavimento semi-rígido, de acuerdo al procedimiento siguiente:

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} = \frac{1.78}{0.45} = 3.96''; \text{ adoptar } 4''$$

Entonces el SN_1^* absorbido por el adoquín es:

$$SN_1^* = a_1 * D_1^*$$

$$SN_1^* = 0.45 * 4 = 1.80$$

Verificando de la forma siguiente, se tiene:

$$SN_1^* \geq SN_1; \text{ por tanto, } 1.80 \geq 1.78; \therefore \text{ OK}$$

Después se calcula el espesor mínimo de la capa de base.

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 * m_2} = \frac{2.17 - 1.80}{0.122 * 1.0} = 3.03''; \text{ adoptar } 4''$$

Entonces el SN_2^* absorbido por la base es:

$$SN_2^* = a_2 * m_2 * D_2^* = 0.122 * 1.0 * 4 = 0.488$$

Verificando de la forma siguiente, se tiene:

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2; \text{ por tanto, } 2.288 \geq 2.17; \therefore \text{ OK}$$

Por último, se calcula el espesor mínimo de la capa de sub-base.

$$D_3^* \geq \frac{[SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)]}{a_3 * m_3}$$

$$D_3^* \geq \frac{[2.45 - (1.80 + 0.488)]}{0.126 * 1.0} = 1.3''; \text{ adoptar } 4''$$

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Entonces el SN_2^* absorbido por la base es:

$$SN_3^* = a_3 * m_3 * D_3^* = 0.126 * 1.0 * 4 = 0.504$$

Verificando de la forma siguiente, se tiene:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN_3$$

$$1.80 + 0.488 + 0.504 \geq 2.45; \quad 2.792 \geq 2.45; \therefore \text{OK}$$

Esto quiere decir que el diseño cumple con la condición y significa que cada capa del paquete estructural queda protegida de los esfuerzos a los cuales va a ser sometida. Los espesores de diseño que cumplen con las especificaciones de los materiales son:

Capa de rodamiento: 4" (10 centímetros)

Base: 4" (10 centímetros)

Sub-base: 4" (10 centímetros)

Tabla 6-13. *Diseño final para el tramo 2 (T2)-Adoquinado*

RESULTADOS		
CAPA	ESPESOR CAPAS (CM)	DESCRIPCIÓN
Adoquín	10	Tipo Tráfico de 3500 psi
Arena	5	Motastepe
Base	10	Material del banco de préstamo, ubicado en la comunidad de Belén, a 5.5 Km del casco urbano del municipio de El Tortuguero, RACCS. Base Compactada al 98% y sub-base 95%, Proctor Estándar. Tipo de material A-1-a (0).
Sub-base	10	
Espesor total	35	

Fuente: *Elaboración propia*. (2016).

Capítulo 7 : Diseño Hidráulico

El agua de lluvia puede llegar a causar gran deterioro en una vía, es por esta razón que las estructuras de drenaje son de mucha importancia para la conservación de una carretera. Dichas obras se deben diseñar considerando cuándo y con qué intensidad ocurrirá el evento que aportará mayor escurrimiento superficial. Ahí radica la importancia del Estudio Hidrológico, mediante el cual se determina el caudal máximo con el que se diseña el drenaje.

Conociendo los caudales de diseño, se procede al dimensionamiento de las obras de drenajes. Pero antes, se darán algunas definiciones importantes.

7.1. Badén estándar

Un badén es una estructura que permite el tránsito por un cauce cuando no hay agua o cuando ésta corre con corto tirante. Esta estructura está destinada a proteger de la erosión a la carretera de pequeños cursos de agua o corrientes que la atraviesan. Su uso se limita a cruces con caudales pequeños y en zonas con topografía plana (MTI, 2011).

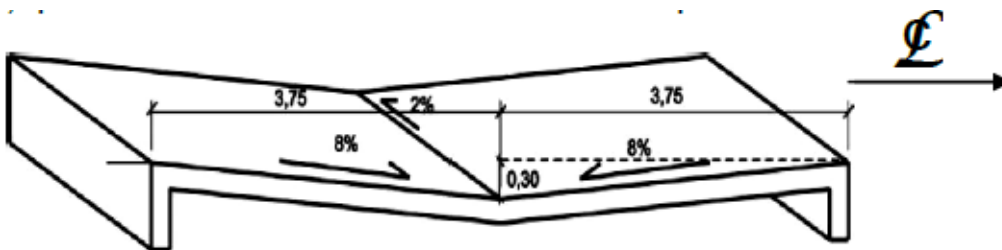


Figura 7-1. Dimensiones de badén estándar.

Fuente: Guía hidráulica para el diseño de obras de drenaje, MTI (2011).

7.1.1. Criterios de diseño.

1. El caudal de diseño se determinará para un período de retorno de 2 años, usando el Método Racional
2. La altura máxima que alcanzará el nivel del agua para el caudal de diseño será de 30 cm.

7.1.2. Dimensionamiento del badén.

Se propone que el badén conduce el caudal como un canal y para determinar la velocidad de conducción se puede utilizar la ecuación de Manning que se expresa:

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad \text{Ecuación 7 – 1}$$

Y para determinar su capacidad se utiliza la ecuación de continuidad:

$$Q = V.A \quad \text{Ecuación 7 – 2}$$

Donde:

Q: caudal (m³/seg)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning. (Ver Tabla 7 – 1)

A: área de sección transversal (m²)

P: perímetro mojado (m)

Rh: radio hidráulico; es igual a A/P (m)

S: pendiente longitudinal del (m/m).

Tabla 7-1. Coeficientes de rugosidad de Manning

Superficie	Superficie
Cemento muy pulido	0.010
Madera acepillada	0.012
Hormigón ordinario	0.013
Cemento con pulido ordinario	0.015
Canales de tierra	0.023
Canales de tierra dragados	0.027
Canales labrados en roca	0.040

Fuente: Giles, R. (1994). *Mecánica de fluidos*. España: McGraw Hill.

A continuación se presentan los pasos para determinar la capacidad hidráulica:

1. Determinar el caudal de diseño (Qd) con el Método Racional para un período de retorno de 2 años
2. Calcular el caudal máximo que puede conducir el badén estándar. Utilizar la (ecuación 7 – 1) de Manning y la de continuidad (ecuación 7 – 2). Considerar un canal triangular. La geometría del badén estándar es la siguiente:
 - Profundidad o tirante máximo y = 30 cm,
 - Pendiente de los lados (de entrada y salida del badén sobre LC del camino) S=0.08 m/m
 - Pendiente del fondo del canal, pendiente transversal al eje del camino, S=0.02 m/m.
 - Pendiente de los lados de la estructura (z) =1/0.08 = 12.5. Son taludes 1x12.5
 - n=0.013 para concreto, según Tabla 7– 1.

7.2. Cunetas

Las cunetas son aquellas estructuras que conducen las aguas que escurren de la carretera y las áreas adyacentes. Estas conducen el flujo de agua hacia los puntos más bajos, es decir, cauces naturales y pueden tener diferentes secciones transversales, dentro de las principales se encuentran secciones semicirculares, trapezoidales y rectangulares. En este proyecto se diseñan cunetas triangulares, porque son eficientes y su construcción no es muy complicada.

Para determinar la capacidad de las cunetas se emplea la ecuación de Manning (Ecuación 7 – 1) y la ecuación de continuidad, como un canal a cielo abierto. En general, se podría decir que el dimensionamiento de las mismas está en función de su sección transversal, pendiente longitudinal (la cual no puede ser menor del 0.5%) y la rugosidad del material de revestimiento.

La sección transversal de las cunetas generalmente tiene una forma de triángulo rectángulo, con el bordillo formando el lado vertical, en las normas de diseño, comúnmente se le asigna la misma pendiente de la calle y la profundidad máxima es 15 cms. La superficie de agua o espejo de agua máximo sobre la carretera puede ser igual al ancho de la berma en vías de principales o igual a la mitad de la calzada en vías secundarias. Para cunetas con sección transversal de triángulo rectángulo se emplea la siguiente ecuación:

Área hidráulica

$$A_h = y * \frac{b}{2} \quad \text{Ecuación 7 – 3}$$

El perímetro mojado está determinado por

$$P = y + \sqrt{y^2 + b^2} \quad \text{Ecuación 7 – 4}$$

Y el radio hidráulico

$$R_h = \frac{A_h}{P} \quad \text{Ecuación 7 – 5}$$

7.3. Canal de drenaje

Desde la estación 0+128.28 a la estación 0+228.8 existe un tramo en pendiente negativa, en este se propone la construcción de un canal, ya que a través del estudio topográfico se identificó que tiene una pendiente demasiado pronunciada (4.63 %), la cual podría provocar que la velocidad del agua produzca el arrastre de la arena entre las juntas de los adoquines. También, este tramo incluye una intersección con otra calle, con este canal se evitará la construcción de badén, vado o cualquier otra obra que pueda

afectar la velocidad de circulación vehicular en este punto. Por otra parte, en ese sitio durante invierno y verano hay aguas grises provenientes de las casas; las cuales escurren por la calle y afectan la estética del lugar.

Dicho canal se colocará debajo de la cuneta y será diseñado como canal a cielo abierto ya que no funcionará a sección llena. Un canal abierto es un conducto en el que el agua fluye con una superficie sometida a la presión atmosférica. El flujo se origina por la pendiente del canal y de la superficie del líquido.

7.3.1. Criterios de diseño para canales abiertos.

En el diseño de canales abiertos se deben considerar diferentes factores, dentro de los principales están: el caudal a conducir, factores geométricos e hidráulicos de la sección, materiales de revestimiento, la topografía existente, los materiales disponibles en la zona o en el mercado más cercano, costos de materiales, disponibilidad de mano de obra calificada, tecnología actual, optimización económica, etc. Si se tiene en cuenta todos estos factores, se llegará a la solución técnica y económica más conveniente.

a. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico de un canal se hace empleando la ecuación de Manning (Ecuación 7 – 1). Por otro lado, se presume que el escurrimiento se desarrollará en condiciones de flujo uniforme. El flujo no uniforme se presentará en situaciones de cambios en la pendiente, rugosidad, dimensiones de la sección, embalsamientos y caídas.

b. Sección hidráulica óptima

Uno de los aspectos de la hidráulica de mayor relevancia en el diseño de canales es el relativo a la definición de la sección de máxima eficiencia hidráulica.

En términos simples, la sección de máxima eficiencia hidráulica es cuando para la misma área y pendiente conduce el mayor caudal posible, ésta condición está referida a un perímetro húmedo mínimo, con rugosidad, pendiente y forma geométrica especificada.

Con base en lo anterior podría decirse, que de lograrse el diseño con la sección de máxima eficiencia, se podrían minimizar las áreas y volúmenes de excavación así como las cantidades de obra relacionadas con la construcción del revestimiento (menor perímetro mojado). Se ha comprobado que las secciones semicirculares son las más eficientes hidráulicamente, pero su construcción requiere considerables movimientos de tierra, por este motivo en este trabajo se propone un canal rectangular.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.



Figura 7-2. Sección de canal rectangular.

Fuente: Chow, V.(1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Bogotá: McGraw Hill.

Área: $A = by$ *Ecuación 7 – 6*

Perímetro: $P = b + 2y$ *Ecuación 7 – 7*

Radio hidráulico: $R_h = \frac{A}{P} = \frac{by}{b+2y}$ *Ecuación 7 – 8*

c. Rugosidad

En canales proyectados con revestimiento, la rugosidad es función del material usado, que puede ser de concreto, mampostería, tubería PVC o HDP o metálica. Para diferentes valores de rugosidad ver la tabla 7 – 1.

d. Velocidad mínima permisible

La velocidad mínima permisible es aquella velocidad que no permite sedimentación, este valor es muy variable y no puede ser determinado con exactitud, cuando el agua fluye sin limo este valor carece de importancia, pero la baja velocidad favorece el crecimiento de las plantas. El valor de 0.8 m/seg se considera como la velocidad apropiada que no permite sedimentación y además impide el crecimiento de plantas en el canal.

e. Borde libre

Es el espacio entre la cota de la corona y la superficie del agua, no existe ninguna regla fija que se pueda aceptar universalmente para el cálculo del borde libre, debido a que las fluctuaciones de la superficie del agua en un canal, se puede originar por causas incontrolables.

7.4. Rejillas pluviales

La escorrentía que circula por las calles comúnmente es conducida a los imbornales o tragantes localizados en las cunetas o en la superficie de la calzada para permitir su paso hacia los conductos de drenaje pluvial. La capacidad de captación de estas entradas depende de varios criterios:

- Tipo de acabado de la calzada.
- Dimensiones de ancho, longitud y altura.
- Altura del sardinel o bordillo.
- Ubicación de la entrada: vertical en la cara del bordillo u horizontal en la cuneta.
- La posición de la entrada, que puede ser a nivel o definida con respecto a la pendiente de la cuneta.
- El coeficiente n de Manning.

En el imbornal se colocan dispositivos hidráulicos destinados a retener sólidos suspendidos o flotantes arrastrados por las aguas para impedir que dichos sólidos ingresen al sistema de evacuación, estas estructuras se denominan rejillas. Ver figura 7 – 3. Las rejillas colocadas en la cuneta pueden ser de pendiente transversal uniforme (la misma pendiente transversal de la calle) y de pendiente transversal variable.

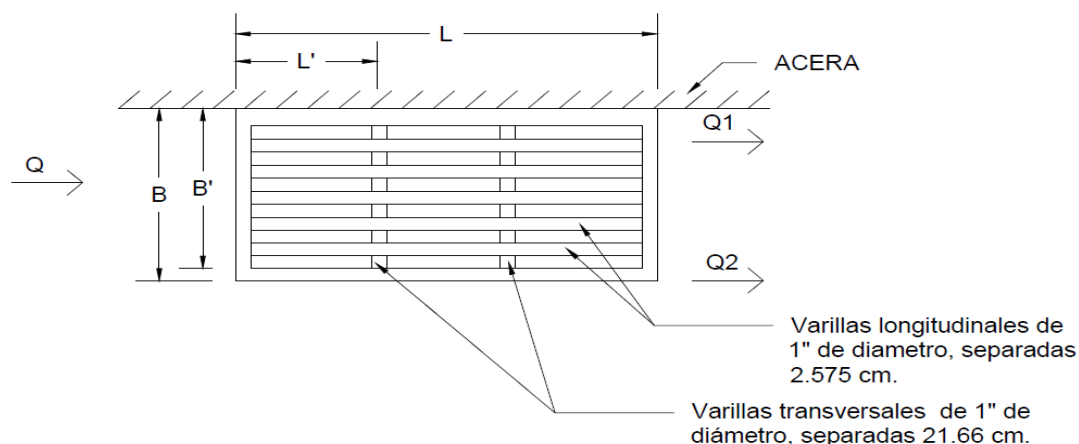


Figura 7-3. Rejilla típica de imbornal de cuneta.

Fuente: *Normativa técnica para el diseño de obras de drenaje*. República Dominicana.

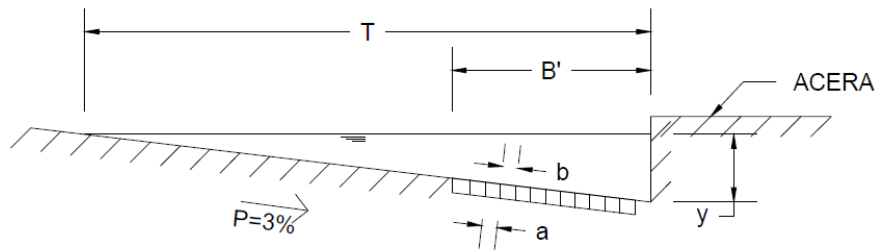


Figura 7-4. Elevación de rejilla típica de imbornal de cuneta.

Fuente: *Normativa técnica para el diseño de obras de drenaje*. República Dominicana.

El diseño de la rejilla típica de imbornal de cuneta es de $A = L \cdot B$, convencionalmente $L = 0.71$ m y $B = 0.35$ m, entonces $A = 0.25$ m² de área total bruta, con barras longitudinales, separadas $a = 2.715$ cm y dos barras transversales espaciadas a $L' = 21.66$ cm.

La eficiencia de captación de las rejillas pluviales, expresada en porcentaje) se calcula con la relación de la capacidad de captación de la rejilla (caudal interceptado) y el caudal que fluye por la cuneta.

$$E = \frac{Q_{\text{interceptado}}}{Q_c} * 100 \quad \text{Ecuación 7 – 9}$$

7.5. Tragante

Es la abertura en la cuneta cuya función es recibir la escorrentía de las calles y conducirla hacia su evacuación a través de la red de flujo. En pocas palabras, esta estructura hidráulica permite el acceso de agua de lluvia al sistema pluvial.

Los tragantes o también llamados imbornales se clasifican en:

- De cuneta (con y sin depresión)
- De bordillo (hueco vertical)
- Cuneta-Bordillo (rejilla-hueco vertical)
- De calzada (canaleta de rejillas)

Los imbornales se ubican en puntos bajos e intersecciones de calles para captar el 100% de las aguas que llega por ellas. En general, la ubicación y espaciamiento entre imbornales es una definición de la cantidad de caudal de escorrentía de lluvia que se concentre en un punto específico y de las conveniencias que se dan para el tráfico tanto de vehículos como de peatones.

7.5.1. Tragante de cuneta.

Consiste en una cámara con una abertura cubierta con una rejilla de barras metálicas paralelas al flujo de agua, pero por razones estructurales también puede tener varillas

transversales colocadas en la parte inferior de la rejilla. Este tipo de imbornal tiene la ventaja de mayor captación en pendiente longitudinal de la calle, aunque el área útil se puede disminuir por la acumulación de basura, lo que reduce la eficiencia.

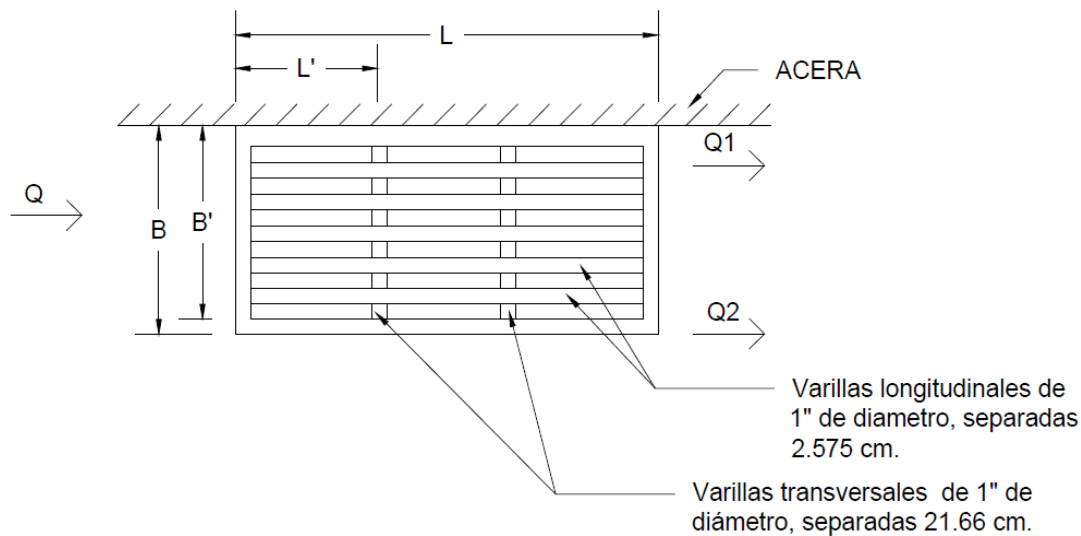


Figura 7-4. Imbornal de cuneta (sin depresión).

Fuente: *Normativa técnica para el diseño de obras de drenaje*. República Dominicana.

Los imbornales con depresión aumentan su capacidad de captación, pero presentan el inconveniente de acumulación de basura sobre la rejilla aumentando el tiempo de concentración y originando inundación de las intersecciones de las calles, requiriéndose un mantenimiento regular de limpieza de la rejilla.

7.5.2. Diseño hidráulico de los tragantes.

Los imbornales o sumideros deben diseñarse para que puedan captar las aguas de precipitación esperadas para el periodo de retorno relacionado en el diseño. Para el dimensionamiento del imbornal se considerarán las siguientes variables:

- Perfil de la pendiente.
- Sección transversal de la cuneta.
- Retención de residuos sólidos.
- Pendiente del imbornal.
- Rugosidad de la superficie de la cuneta.

La capacidad hidráulica del imbornal de cuneta depende del tamaño y diseño de la rejilla, características de la cuneta y la posición de ubicación. Su capacidad se estima bajo la suposición de que funciona como vertedero para alturas menores de 12 cm y como orificio para alturas de agua mayores.

Ecuación de vertedero:

$$Q = 1.66Py^{3/2} \quad \text{para } y < 12\text{cm} \quad \text{Ecuación 7 – 10}$$

$$P = L + 2B \quad \text{Ecuación 7 – 11}$$

Donde P es el perímetro de la abertura, es decir, la longitud de los bordes abiertos de la rejilla, sobre la que fluye el agua, sin considerar las barras transversales.

Para tirantes de aguas mayores se utiliza la ecuación de orificio:

$$Q = 2.96Ay^{1/2} \quad \text{para } y \geq 12\text{cm} \quad \text{Ecuación 7 – 12}$$

Donde:

A: es el área neta útil de la abertura (A_g) de la rejilla (m^2).

$$A_g = a * l_0 \quad \text{Ecuación 7 – 13}$$

En esta ecuación a es la separación entre las varillas longitudinales y l_0 es la separación entre las varillas transversales, para una mejor interpretación de esto, se recomienda ver las Figuras 7 – 3 y 7 – 4.

7.6. Memoria de Cálculo

Dimensionamiento de badén:

El área para un canal triangular queda determinada por:

$$A = z * y^2 \quad \text{Ecuación 7 – 13}$$

Entonces:

$$A = 12.5 * (0.3)^2 = 1.13 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado:

$$P = 2y(1 + z^2)^{1/2} \quad \text{Ecuación 7 – 14}$$

Empleando la ecuación anterior, se obtiene:

$$P = 2(0.30)(1 + (12.5)^2)^{1/2} = 7.52 \text{ m}$$

Radio hidráulico:

$$R_h = A/P \quad \text{Ecuación 7 – 15}$$

Conociendo A y P, resulta:

$$R_h = 1.13 \text{ m}^2 / 7.52 \text{ m} = 0.15 \text{ m}$$

Con la ecuación de Manning (Ecuación 7 – 1) se calcula velocidad,

$$V = \frac{(0.15)^{2/3}(0.02)^{1/2}}{0.013} = 3.07 \text{ m/s}$$

Y con la ecuación 7 – 2, se tiene que:

$$Q = 3.07 \text{ m/s} * 1.13 \text{ m}^2 = 3.46 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con este resultado se puede decir que un badén estándar tiene la capacidad suficiente para drenar los 0.6378 m³/s, que es el caudal de diseño determinado a través del estudio hidrológico realizado. Por otro lado, se recomienda colocar bolones en la salida del badén, ya que la velocidad (3.07 m/s) es erosiva para el terreno natural.

Dimensionamiento de cuneta:

Las cunetas serán diseñadas para conducir el máximo caudal producido según los resultados del estudio hidrológico, es decir, 0.6378 m³/s y la pendiente máxima en todo el tramo 18%.

Se propone:

y = 0.12 m (ya que con y = 15 cm se considera que la calle está inundada totalmente)

b = 1.5 m

Empleando la ecuación 7 – 3, 7 – 4 y 7 – 5, resulta respectivamente:

$$A_h = 0.12 * \frac{1.5}{2} = 0.09 \text{ m}^2$$

$$P = 0.12 + \sqrt{(0.12)^2 + (1.5)^2} = 1.625 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{0.09 \text{ m}^2}{1.625 \text{ m}} = 0.0554 \text{ m}$$

Usando la ecuación de Manning, ecuación 7 – 1 la velocidad resulta ser,

$$V = \frac{(0.0554)^{2/3}(0.181)^{1/2}}{0.013} = 4.76 \text{ m/s}$$

Ahora se procede a calcular el caudal hidráulico con la ecuación de continuidad (Ecuación 7 – 2) y se compara con el caudal de diseño.

$$Q_h = 4.76 \text{ m/s} * 0.09 \text{ m}^2 = 0.4284 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este resultado se multiplica por dos porque son dos cunetas, una en cada banda. Entonces el caudal hidráulico total, es:

$$Q_h = 0.4284 \text{ m}^3/\text{s} * 2 = \mathbf{0.8577 \text{ m}^3/\text{s}} > Q_D = 0.6378 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como se puede apreciar el caudal hidráulico es mayor que el de diseño, que es el caudal máximo, por lo tanto, en los otros tramos donde el caudal es menor, la cuneta no tendrá problemas; tiene la suficiente capacidad para conducir las aguas.

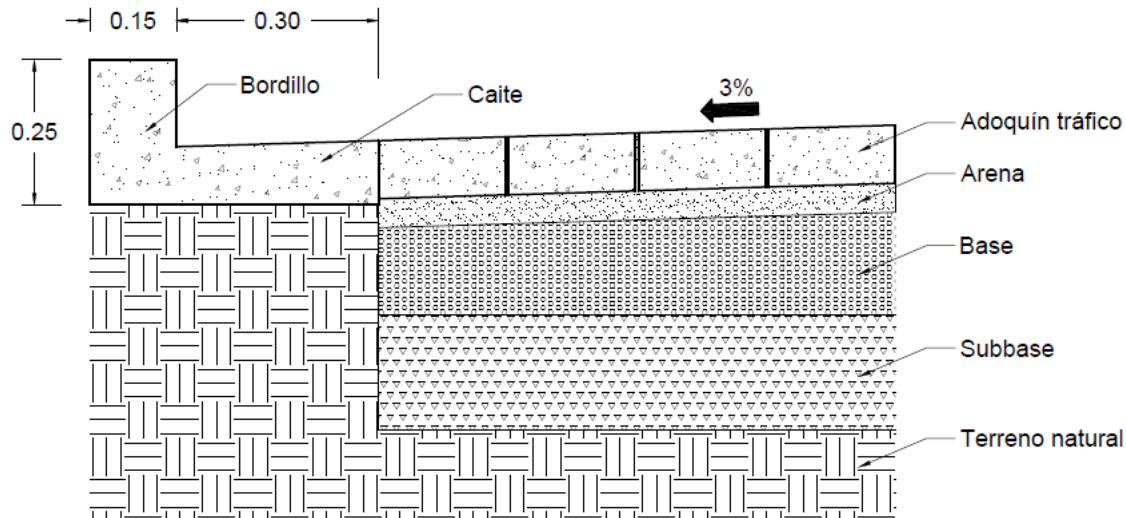


Figura 7-5. Dimensiones de cuneta.

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Dimensionamiento del canal

$$Q = 0.6378 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = 4.63 \%$$

Se propone:

$$y = 0.30 \text{ m}$$

$$b = 0.35 \text{ m}$$

$$\text{Borde libre} = 15 \text{ cm}$$

Usando la ecuación 7 – 6, se tiene:

$$A = 0.30 \times 0.35 = 0.105 \text{ m}^2$$

El perímetro y el radio hidráulico correspondientes a esta área son:

$$P = 0.35 + 2(0.30) = 0.95 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{0.105 \text{ m}^2}{0.95 \text{ m}} = 0.1105 \text{ m}$$

$$V = \frac{(0.1105 \text{ m})^{2/3} (0.0463)^{1/2}}{0.013} = 3.81 \text{ m/s}$$

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

$$Q = (3.81 \text{ m/s})(0.105 \text{ m}^2) = 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tomando en cuenta que se construirá un canal debajo de cada cuneta, es decir, serán dos canales los que se ubicarán en el lugar, el resultado anterior, entonces, se multiplica por dos, resultando:

$$Q_T = 0.4 \text{ m}^3/\text{s} * 2 = 0.8 \text{ m}^3/\text{s} > 0.6378 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se observa que, dos canales con un ancho de 0.35 m y tirante de 0.30 m, pueden conducir las aguas que llegan a la intersección de la calle y transportarlos a la estación 0+140, donde las aguas pasarán a ser depositadas a cauces naturales.

Para una comprobación, estos datos obtenidos se analizaron en el software Hcanal, en la siguiente figura se muestran los resultados.

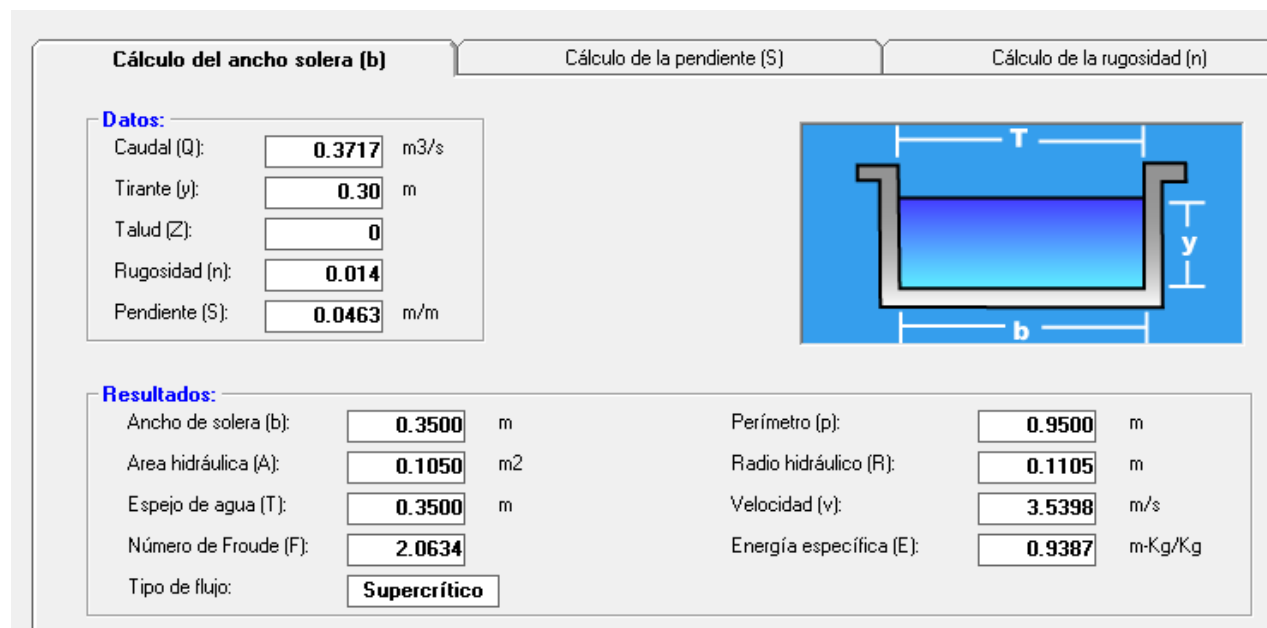


Figura 7-5. Resultados del software Hcanal.

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

De acuerdo a los resultados expresados en la Figura 7 – 5, un canal con ancho de solera de 0.35 m y tirante de 0.30 m puede transportar 0.4 m³/s. Por lo tanto, dos canales con estas mismas condiciones pueden conducir sin ningún problema 0.6374 m³/s.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

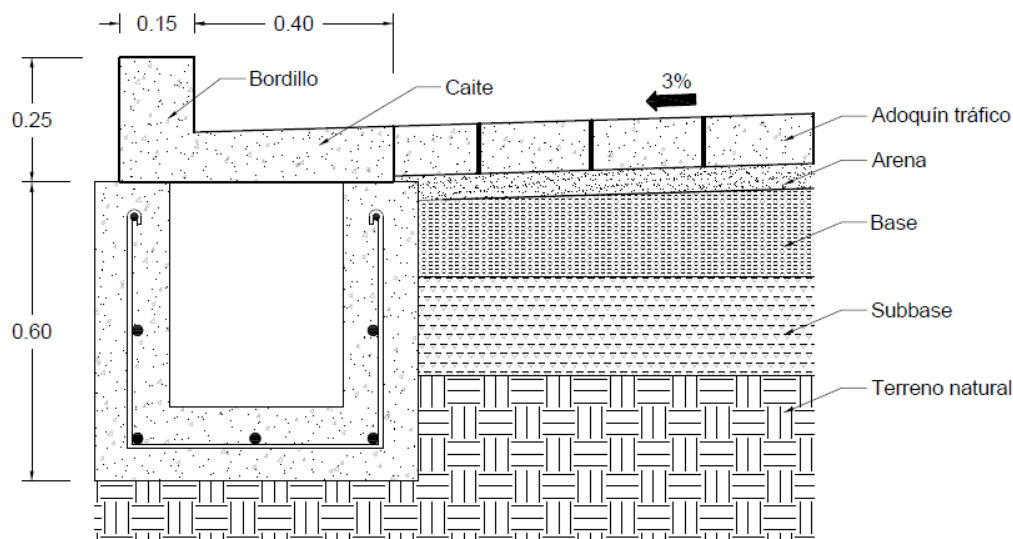


Figura 7-6. Sección transversal de cuneta y canal.

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

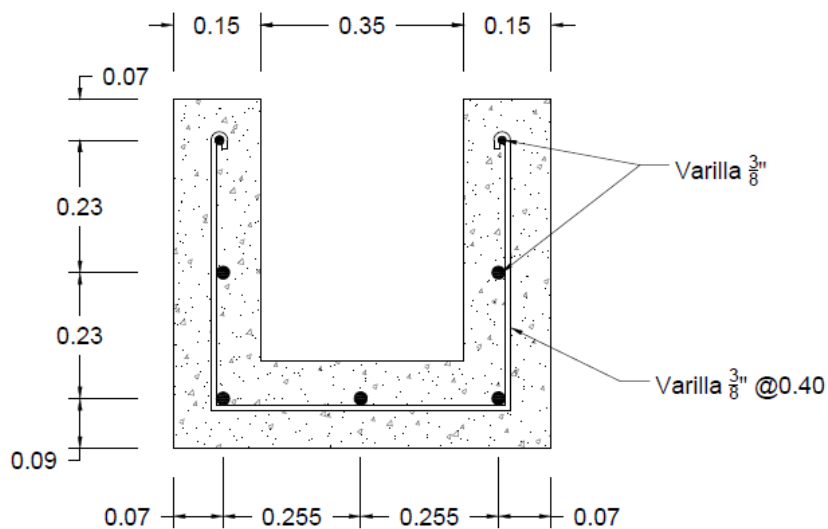


Figura 7-7. Detalle estructural del canal

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Dimensionamiento de imbornal

$$Q_c = Q_D = 0.6378 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$y = 12 \text{ cm}$$

Como el tirante de agua es igual a 12 cm, entonces se empleará la ecuación 7 – 12.

$$Q = 2.96Ay^{1/2}$$

Sabiendo que:

$$A_g = a * l_0 = 0.02715 * 0.2166 = 0.0058 m^2$$

Esta área es para 1 abertura en la rejilla, para obtener el valor total se tiene que multiplicar por 18, que son el número de ranuras en la rejilla que permiten el ingreso del agua.

Entonces:

$$A = 18 * 0.0058 m^2 = 0.104 m^2$$

$$Q = 2.96 * 0.104 * 0.12^{1/2} = 0.107 m^3/s$$

Q Es el caudal interceptado por una rejilla. Ahora se procede calcular la eficiencia de la misma, utilizando la ecuación 7 – 9,

$$E = \frac{0.107}{0.6378} * 100 = 17\%$$

Por consiguiente, para obtener una eficiencia del 100% se necesitan 6 rejillas, las cuales se distribuirán 3 en cada una de las cunetas a lo largo del canal.

Capítulo 8 : Diseño Geométrico

8.1. Sección típica

La sección típica de cada uno de los dos tramos de calles estará conformada por los siguientes elementos: Derecho de vía, Calzada, Carril, Andén, Espesores de la capa estructural, Bordillo y Caite (cuneta).

Las dimensiones de cada uno de estos elementos se determinaron en los estudios anteriores a este acápite, donde mediante el estudio topográfico, se estableció el derecho de vía mínimo para algunos lugares durante todo el eje de la vía existente, de aproximadamente, 7 metros y máximo de hasta 15 metros (donde se propondrá un boulevard).

En el diseño de pavimento se determinaron los espesores de la estructura de pavimento de concreto hidráulico dando los siguientes resultados:

Carpeta del pavimento: 16 centímetros.

Sub-base granular: 20 centímetros.

Sin embargo, en el diseño del pavimento semi-rígido, se determinaron los espesores siguientes:

Adoquín: 10 centímetros.

Capa de arena: 5 centímetros.

Base: 10 centímetros.

Sub-base: 10 centímetros.

En el diseño hidráulico se determinaron las dimensiones de la cuneta y resultó que:

Bordillo + caite: 45 centímetros.

Espalda del bordillo: 35 centímetros.

Ancho del bordillo: 15 centímetros.

En las figuras siguientes (figura 8-1 y figura 8-2), se hace una representación más detallada de los datos anteriores para ambos tipos de pavimentos:

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

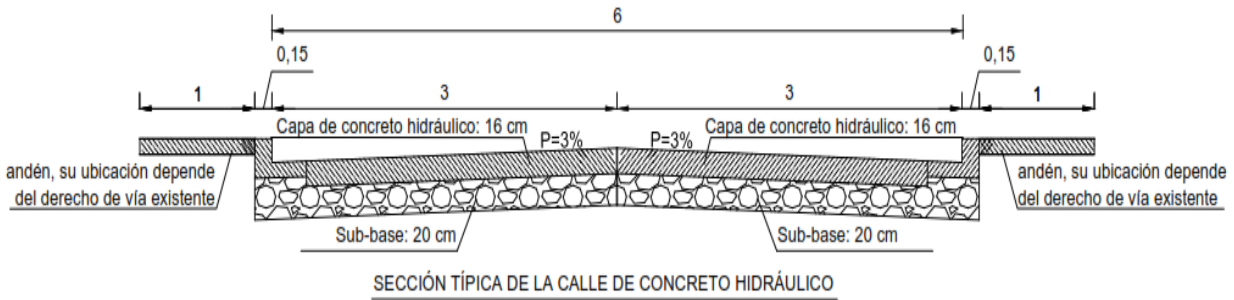


Figura 8-1. Sección transversal de la estructura de pavimento rígido.

Fuente: Elaboración propia (2016).

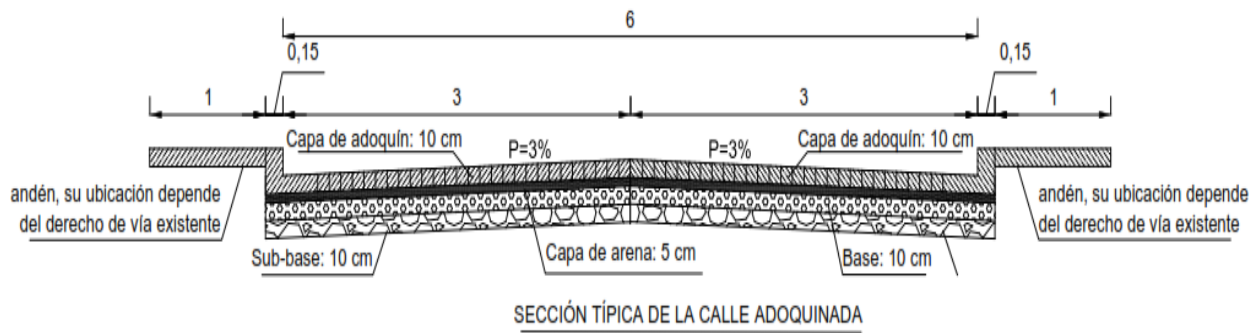


Figura 8-2. Sección transversal de la estructura de pavimento semi-rígido.

Fuente: Elaboración propia (2016).

8.2. Alineamiento Horizontal de las Carreteras

- La topografía condiciona muy especialmente los radios de curvatura y velocidad de proyecto.
- La distancia de visibilidad debe ser tomada en cuenta en todos los casos porque con frecuencia la visibilidad requiere radios mayores que la velocidad en sí.
- El alineamiento debe ser tan direccional como sea posible sin dejar de ser consistente con la topografía.
- Para una velocidad de proyecto dada, debe evitarse dentro de lo razonable, el uso de la curvatura máxima permisible.
- Debe procurarse un alineamiento uniforme que no tenga quiebres bruscos en su desarrollo, por lo que deben evitarse curvas forzadas después de tangentes largas o pasar repentinamente de tramos de curvas suaves a otros de curvas forzadas.
- En terraplenes altos y largos solo son aceptables alineamientos rectos o de muy suave curvatura, para que el conductor pueda ajustar su velocidad a las condiciones prevalecientes.
- En camino abierto debe evitarse el uso de curvas compuestas, sobre todo donde sea necesario proyectar curvas forzadas. Las curvas compuestas se pueden

emplear siempre y cuando la relación entre el radio mayor y el menor sea igual o menor a 1.5.

- Debe evitarse el uso de curvas inversas que presenten cambios de dirección rápidos, pues dichos cambios hacen difícil al conductor mantenerse en su carril, resultando peligrosa la maniobra. Las curvas inversas pueden proyectarse con una tangente intermedia, lo cual permite que el cambio de dirección sea suave y seguro.
- Un alineamiento con curvas sucesivas en la misma dirección debe evitarse cuando existan tangentes cortas entre ellas, pero puede proporcionarse cuando las tangentes sean mayores de 500 m. Para anular la apariencia de distorsión, el alineamiento horizontal debe estar coordinado con el vertical.

8.2.1. Distancias de Visibilidad de Parada.

Esta es la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo en marcha, cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto adelante de su recorrido. Esta distancia se calcula para que un conductor y su vehículo por debajo del promedio, alcance a detenerse ante el peligro u obstáculo. Es la distancia de visibilidad mínima con que debe diseñarse la geometría de una carretera, cualquiera que sea su tipo.

La distancia de visibilidad de parada, DVP, tiene dos componentes, la distancia de percepción y reacción del conductor - que está regida por el estado de alerta y la habilidad del conductor - y se identifica como d_1 , más la distancia de frenado que se denomina d_2 . La primera es la distancia recorrida por el vehículo desde el momento que el conductor percibe el peligro hasta que aplica el pedal del freno, y la segunda, es la distancia que se necesita para detener el vehículo después de la acción anterior. El tiempo de reacción para actuar el freno es el intervalo que ocurre desde el instante en que el conductor percibe la existencia de un objeto o peligro en la carretera adelante, hasta que el conductor logra reaccionar aplicando los frenos.

Los cuatro componentes de la reacción en respuesta a un estímulo exterior se conocen por sus iniciales PIEV, que corresponden a percepción, intelección, emoción y volición. Diversos estudios sobre el comportamiento de los conductores han permitido seleccionar un tiempo de reacción de 2.5 segundos, que se considera apropiado para situaciones complejas, por lo tanto más adversas.

La distancia de visibilidad de parada en su primer componente, d_1 , se calcula involucrando la velocidad y el tiempo de percepción y reacción del conductor, mediante la siguiente expresión matemática:

$$d_1 = 0.278 v.t \text{ (metros)}$$

Ecuación 8-1

Donde:

v = Velocidad inicial, kilómetros por hora,

t = Tiempo de percepción y reacción, que ya se indicó es de 2.5 seg.

La distancia de frenado, d2, se calcula por medio de la expresión que se muestra a continuación:

$$d2 = v^2 / 254 f \text{ (metros)} \quad \text{Ecuación 8-2}$$

v = velocidad inicial, kilómetros por hora.

f = coeficiente de fricción longitudinal entre llanta y superficie de rodamiento.

El factor f no es único, es un valor experimental que decrece en proporción inversa a las velocidades y está sujeto a cambios tomando en cuenta la influencia de las siguientes variables:

- Diseño y espesor de la huella de la llanta, resistencia a la deformación y dureza del material de la huella.
- Condiciones y tipos de superficies de rodamiento de las carreteras.
- Condiciones meteorológicas.
- Eficiencia de los frenos y del sistema de frenos del vehículo.

La investigación y la experiencia indican que el factor debe seleccionarse para reflejar las condiciones más adversas, por lo que los valores de f están referidos a pavimento húmedo, llantas en diferentes condiciones de desgaste y diferencias en las calidades de los conductores y sus vehículos. Las velocidades promedios de ruedo, en lugar de las velocidades de diseño, son otras referencias adicionales para la escogencia de los valores apropiados para el factor f.

Para tomar en cuenta el efecto de las pendientes, hay que modificar el denominador de la fórmula anterior, de la siguiente manera:

$$D = v^2 / 254 (f \pm G) \quad \text{Ecuación 8-3}$$

G = Porcentaje de la pendiente dividida entre 100, siendo positiva la pendiente de ascenso (+) y negativa (-) la de bajada.

Las distancias de visibilidad de parada en subida tienen menor longitud que en bajada; consecuentemente, se calculan las primeras utilizando el promedio de la velocidad de marcha o de ruedo y las del siguiente orden utilizando la velocidad de diseño.

En los casos de carreteras divididas y vías con circulación de un solo sentido, el ajuste por pendientes se aplica a las calzadas individuales. Otros criterios para seleccionar valores de diseño para este parámetro de visibilidad en carreteras de dos carriles, no toma en cuenta este ajuste y el alineamiento se diseña igual que en condiciones de terreno plano, ya que se considera que se produce un ajuste automático por las diferencias en longitud en las pendientes de subida y bajada. Es recomendable que los ajustes se hagan de acuerdo a los casos particulares y a propio juicio del diseñador.

8.2.2. Curvatura Horizontal y Sobre elevación.

En el diseño de curvas horizontales se deben considerar dos casos:

- Tangente seguida por curva horizontal.

En esta situación, las fuerzas centrífugas actúan en contra de la operación segura de los vehículos cuando entran y circulan por la curva.

- Alineamiento compuesto de tangente y curva horizontal y vertical.

Gobiernan el diseño factores como el efecto de las fuerzas centrípetas y centrífugas, el movimiento lento de los vehículos pesados cuando ascienden las pendientes y las altas velocidades cuando bajan.

Para dar seguridad y economía a la operación del tránsito, se han introducido factores limitantes en los métodos de diseño del alineamiento horizontal, como el radio mínimo de curva o grado máximo de curva, la tasa de sobreelevación máxima o peralte máximo, los factores de fricción y las longitudes de transición mínima cuando se pasa de una tangente a una curva.

La expresión matemática desarrollada para tomar en cuenta estos factores y la velocidad de diseño, es la siguiente:

$$e + f = V^2/127 R \quad \text{Ecuación 8-4}$$

Donde:

e= Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

f = Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.

V = Velocidad de diseño, en kilómetros por hora.

R = Radio de curva, en metros.

8.2.3. Factor máximo de fricción lateral y tasa de sobreelevación.

El factor de fricción lateral depende principalmente de las condiciones de las llantas de los vehículos, el tipo y estado de la superficie de rodamiento y de la velocidad del vehículo, mientras que la sobreelevación o peralte depende de las condiciones climáticas, tipo de área, urbana o rural, frecuencia de vehículos de baja velocidad y las condiciones del terreno.

La AASHTO presenta factores de fricción lateral para tres tipos de carreteras, con variaciones entre 0.17 y 0.10 en función inversa de la velocidad para todo tipo de carreteras rurales y urbanas con velocidades comprendidas entre 30 y 110 kilómetros por hora, entre 0.30 y 0.16 para vías urbanas de baja velocidad, de 30 a 70 kilómetros por hora, y entre 0.33 y 0.15 para tramos de giro en intersecciones a velocidades de 20 a 70 kilómetros por hora.

La sobreelevación o peralte, e , siempre se necesita cuando un vehículo viaja en una curva cerrada a una velocidad determinada, para contrarrestar las fuerzas centrífugas y el efecto adverso de la fricción que se produce entre la llanta y el pavimento.

En curvas con radios de gran amplitud este efecto puede ser desestimado. De acuerdo a la experiencia se ha demostrado que una tasa de sobreelevación de 0.12 no debe ser excedida, debido al control combinado que ejercen los procesos constructivos, las dificultades para el mantenimiento y el efecto de Incomodidad para el movimiento de vehículos lentos. Donde se limite la velocidad permisible por la congestión del tránsito o el extenso desarrollo marginal a lo largo de la carretera, la tasa de sobreelevación no debe exceder entre 4 y 6 por ciento. Dado que las condiciones meteorológicas y topográficas imponen condiciones particulares en los diseños, se recomiendan para diseño los siguientes factores de sobreelevación para diferentes tipos de área donde se localicen las carreteras:

Tabla 8-1. Tasas de sobreelevación

Tasa de sobreelevación “e” en %	Tipo de Área
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

Fuente: *A Policy on Geometric Design of Highways and streets*. (1994).

Tabla 8-2. Factores de fricción lateral

Velocidad de diseño (Km/h)	Factor de Fricción máxima
30	0.17
40	0.17
50	0.16
60	0.15
70	0.14
80	0.14
90	0.13
100	0.12
110	0.11
120	0.09

Fuente: AASHTO. (1994). *A Policy on Geometric Design of Highways and streets*.

8.2.4. Radios mínimos y grados máximos de curva.

Los radios mínimos son los valores límites de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relacionan con la sobreelevación máxima y la máxima fricción lateral escogida para diseño. Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte o sobreelevación de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad, o porque la fricción lateral entre las ruedas y el pavimento es insuficiente y se produce el deslizamiento del vehículo. Un vehículo derrapa en las curvas debido a la presencia de agua o arena sobre la superficie de rodamiento. El uso de radios más reducidos solamente puede lograrse a costas de incómodas tasas de sobreelevación o apostando a coeficientes de fricción lateral que pueden no estar garantizados por la adherencia de las llantas (calidad, grado de desgaste del grabado, presión, etc.) con la superficie de rodamiento de la carretera.

Una vez establecido el máximo factor de sobreelevación (e), los radios mínimos de curvatura horizontal se pueden calcular utilizando la fórmula siguiente:

$$R_{\min} = V^2 / 127 (e+f) \quad \text{Ecuación 8-5}$$

Donde:

R_{mín}: Radio mínimo de curva, en metros.

e: Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

f: Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.

V = Velocidad de diseño, en kilómetros por hora.

El grado de curva o de curvatura ($G_{\text{máx}}$) es el ángulo sustentado en el centro de un círculo de radio R por un arco de 100 pies o de 20 metros, según el sistema de medidas utilizado. Para países como los centroamericanos, que se rigen por el sistema métrico, se utiliza la siguiente expresión para el cálculo de $G_{\text{máx}}$:

$$G_{\text{máx}} = 1145.92 / R_{\text{mín}} \quad \text{Ecuación 8-6}$$

Utilizando los valores recomendados para el factor de fricción (f) y la tasa de superelevación o peralte, se ha preparado la tabla 8-3, donde se presentan los radios mínimos y grados máximos de curvatura para diferentes velocidades de diseño, aplicando la fórmula para $G_{\text{máx}}$.

8.2.5. Elementos geométricos de la curva horizontal.

Puntos notables.

PI: Es el punto donde se interceptan las dos tangentes horizontales.

PC: Es el punto de tangencia entre la tangente horizontal y la curva de comienzo de ésta.

PT: Es el punto de tangencia entre la tangente y la curva al final de ésta.

PM: Punto medio de la curva horizontal.

PSC: Indica un punto sobre la curva.

Elementos geométricos de la curva circular.

T: Tangente de la curva, es el segmento de recta que existe entre el PI y el PC y también entre PI y PT.

Δ : Ángulo de inflexión o de deflexión formado por las tangentes al interceptarse en el PI.

R: Es el radio de la circunferencia en la que la curva es un segmento de ésta, de ahí que la curva horizontal es una curva circular. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$R_c = T / \tan(\Delta/2) \quad \text{Ecuación 8-7}$$

CM: Cuerda Máxima, es el segmento de recta que une el PC con el PT. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$CM = 2 * R_c * \sin(\Delta/2) \quad \text{Ecuación 8-8}$$

E: Externa, distancia desde el centro de la curva al punto de inflexión. Su ecuación es la siguiente:

$$E = R_c * (\sec(\Delta/2) - 1) \quad \text{Ecuación 8-9}$$

M: Mediana, la cual es la ordenada a la curva desde el centro de la cuerda máxima. Se calcula de la forma siguiente:

$$M = Rc * (1 - \cos(\Delta/2)) \quad \text{Ecuación 8-10}$$

D: es el desarrollo de la curva circular o longitud del arco de la curva, comprendido entre el PC y el PT. Se calcula con la ecuación siguiente:

$$Dc = \left(\frac{\pi * Rc * \Delta}{180^\circ} \right) \quad \text{Ecuación 8 – 11}$$

S: Sobreancho en la curva circular. Se calcula con la ecuación siguiente:

$$S = \left\{ n \left[Rc - \sqrt{(Rc^2 + L^2)} \right] + \frac{0.10 * V}{\sqrt{Rc}} \right\}$$

Donde:

n: número de carriles de la superficie de rodamiento, (2 carriles).

Rc: radio de la curva, en metros.

L: longitud entre el eje frontal y el eje superior del vehículo de diseño C3, (6.1 metros).

V: velocidad de diseño del proyecto, (30 Km/h).

Nota: según el manual de la SIECA, sobreanchos menores a 0.60 metros, se consideran no necesarios en las curvas.

8.2.6. Curvas Horizontales de Transición.

Para dar seguridad al recorrido de los vehículos desde una sección en recta o tangente de una carretera a una determinada curva horizontal circular, los conductores desarrollan a su manera y en ocasiones invadiendo el carril vecino, una curva que podría denominarse de transición. En los nuevos diseños se ha vuelto práctica común intercalar una curva de transición, que facilite a los conductores el recorrido seguro y cómodo de la curva, manteniendo el vehículo inscrito dentro de su carril y sin experimentar la violencia de la fuerza centrífuga que es propia de la circulación por dicha curva. El requerimiento especial de una curva de transición consiste en que su radio de curvatura pueda decrecer gradualmente desde el infinito en la tangente que se conecta con la espiral (TE) - ver figura 8-3 - hasta el final de la espiral en su enlace con la curva circular (EC). En la situación de salida de la curva circular hacia la espiral (CE), se produce el desarrollo inverso hasta el contacto de la espiral con la tangente (ET). Esta condición produce un incremento y decremento gradual de la aceleración radial, que es bastante deseable en diseño. No cabe lugar a dudas de que la utilización de curvas en espiral mejora la apariencia y la circulación en una carretera.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Se han utilizado la parábola cúbica, la lemniscata y la clotoide en el diseño de curvas de transición, siendo esta última, también conocida como espiral de Euler, la más aceptada en el diseño de carreteras. Por definición, el radio en cualquier punto de la espiral varía en relación inversa con la distancia medida a lo largo de la espiral. En la figura 8-3, se presentan las características geométricas de sus diferentes componentes.

Tabla 8-3. Radios mínimos y grados máximos de curvas

Velocidad de Diseño (Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 4%			Peralte máximo 6%		
		Radio (m)		Grado de Curva	Radio (m)		Grado de Curva
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
30	0.17	33.7	35	32° 44'	30.8	30	38° 12'
40	0.17	60.0	60	19° 06'	54.8	55	20° 50'
50	0.16	98.4	100	11° 28'	89.5	90	12° 44'
60	0.15	149.2	150	7° 24'	135.0	135	8° 29'
70	0.14	214.3	215	5° 20'	192.9	195	5° 53''
80	0.14	280.0	280	4° 05'	252.0	250	4° 35'
90	0.13	375.2	375	3° 04'	335.7	335	3° 25'
100	0.12	492.1	490	2° 20'	437.4	435	2° 38'
110	0.11	635.2	635	1° 48'	560.4	560	2° 03'
120	0.09	872.2	870	1° 19'	755.9	775	1° 29'

Fuente: AASHTO. (1994). *A Policy on Geometric Design of Highways and streets*.

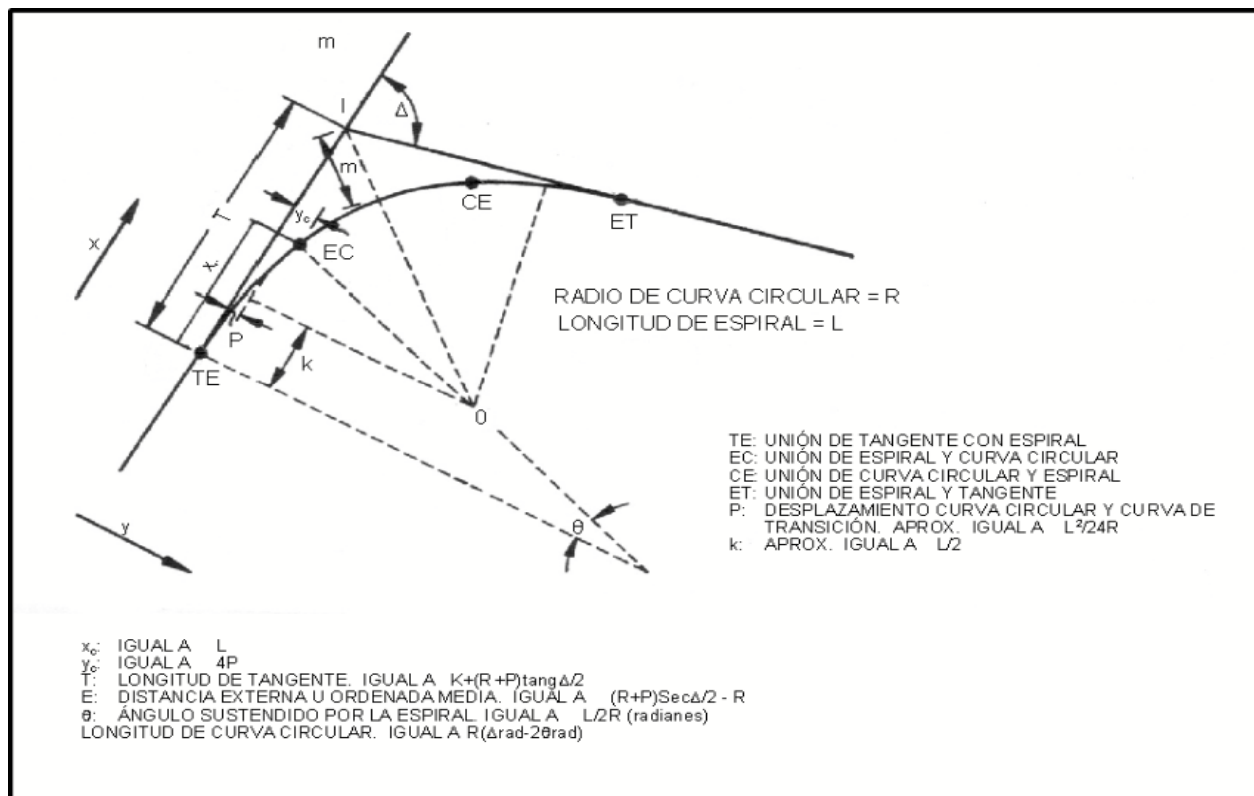


Figura 8-3. Componentes de la curva horizontal y espirales

Fuente: SIECA. (2004). *Manual para el diseño de pavimento*.

La transición en espiral facilita el movimiento del timón, evitando cambios abruptos en la aceleración radial, que causa mucha incomodidad al conductor y los pasajeros, ya que la fuerza centrífuga se va incrementando hasta la curva circular y disminuye a la salida en sentido inverso, hasta alcanzar de nuevo la tangente. Esta longitud de transición es la longitud de la carretera en la cual se cambia de la sección con pendientes transversales normales que corresponde a una sección en tangente, a una sección con pendiente sobre elevada en un solo sentido y su punto inferior hacia el interior de la curva. Igualmente, la curva de transición ofrece una distancia apropiada de transición para la construcción de los sobre anchos exigidos por la curva circular.

Existen varios métodos para calcular la longitud de la curva de transición en espiral. El primero fue desarrollado por Shortt en 1909, para aplicarse al diseño de curvas horizontales para ferrocarriles, aplicándose después al diseño de curvas de carreteras. La longitud mínima de transición de la espiral (L_e), se expresa de la siguiente forma:

$$L_e = 0.0702 \frac{V^3}{RC} \text{ (Sistema metrico)} \quad \text{Ecuación 8 – 12}$$

Donde:

V= velocidad en kilómetros por hora.

R= Radio central de la curva.

C= Tasa de incremento de la aceleración centrípeta, en m/seg^3 .

Este último parámetro es un valor empírico igual a la unidad en el diseño de ferrocarriles, pero cuyos valores varían entre 1 y 3 para aplicaciones en carreteras. En vista que existen varios métodos de cálculo de longitudes de transición cuyos resultados son diferentes, se ha considerado conveniente adoptar las recomendaciones de la AASHTO, para valores de este elemento de diseño en las carreteras regionales, dejando siempre a juicio del diseñador su propia elección de acuerdo a situaciones particulares. Una observación muy valiosa y de índole práctica, es que el control para el cálculo de la transición no depende de la exactitud de la aplicación de la fórmula, sino de la longitud requerida para el desarrollo de la sobreelevación máxima entre la tangente y la curva circular.

Las longitudes de espirales en intersecciones se calculan de la misma manera que en carretera abierta, excepto que las espirales pueden tener longitudes menores ya que en las carreteras se aplican valores de C comprendidos entre 0.3 y 1.0, en tanto que en las intersecciones dicho valor puede estar entre 0.75 para velocidades de 80 kilómetros por hora y 1.2 para velocidades de 30 kilómetros por hora. Las longitudes mínimas de espirales, para los radios mínimos que gobiernan la velocidad de diseño, van desde 20

metros para velocidades de 30 kilómetros por hora y radios mínimos de 25 metros, hasta 60 metros para velocidades de 70 kilómetros por hora y radios mínimos de 160 metros.

Cuando se utiliza una espiral, se acostumbra que la transición de la sobreelevación se realice en la longitud de dicha espiral. Dependiendo de los factores y la fórmula utilizados, la longitud de una espiral puede ser mayor o menor que la longitud de transición dada en la tabla 8-4, aunque las diferencias no son tan sustanciales, razón por la cual se recomienda por consideraciones prácticas utilizar una sola cifra, como la mostrada en la tabla mencionada, para el mejor control del diseño.

Tabla 8-4. Longitudes de Desarrollo de la Sobreelevación

Peralte	Longitud de Transición y Velocidades de Diseño Km/h							
	40	50	60	70	80	90	100	110
	Carriles de 3.60 metros							
0.02	25	30	35	40	50	55	60	65
0.04	25	30	35	40	50	55	60	65
0.06	35	35	40	40	50	55	60	65
0.08	45	45	50	55	60	60	65	70
0.10	55	55	60	65	75	75	80	85
0.12	65	65	75	80	90	90	95	105
	Carriles de 3.00 metros							
0.02	25	30	35	40	50	55	60	65
0.04	25	30	35	40	50	55	60	65
0.06	30	30	35	40	50	55	60	65
0.08	35	40	40	45	50	55	60	65
0.10	45	45	50	55	60	65	70	75
0.12	55	55	60	65	75	75	80	85

Fuente: AASHTO. (1994). *A Policy on Geometric Design of Highways and streets*

A menos que las condiciones topográficas lo impongan, debe evitarse el uso de curvas del mismo sentido con una tangente corta entre ellas. Fuera de su desagradable apariencia, los conductores no esperan que se presenten curvas cortas y sucesivas en el mismo sentido. En estas condiciones, es preferible la introducción de una curva compuesta directa o la introducción de curvas de transición espiral.

8.3. Alineamiento Vertical de las Carreteras

Para el alineamiento vertical es importante aclarar que la sub-rasante es la línea que hay que tomar como referencia, la posición de esta va depender de diferentes factores, como:

- 1- La condición topográfica del terreno va influir en diversas formas al definir la sub-rasante. En terrenos planos la altura de la sub-rasante será regulada

generalmente por el drenaje. En lomeríos se adoptan sub-rasantes onduladas, mientras que en terrenos montañosos, estará regida por la topografía.

- 2- Se debe buscar una sub-rasante suave con cambios graduales. Los valores de diseño son la pendiente máxima y la longitud crítica.
- 3- Deben evitarse vados formados por curvas verticales muy cortas pues no representa un perfil seguro. Asimismo no se debe colocar dos curvas verticales sucesivas y en la misma dirección.
- 4- Es preferible tener un perfil escalonado a una pendiente sostenida, ya que de esta manera se controla más la velocidad.
- 5- Cuando la magnitud del desnivel motiva largas pendientes uniformes, es conveniente adoptar un carril adicional en la sección transversal.
- 6- Se deben considerar carriles auxiliares de ascenso donde la longitud crítica de la pendiente está excedida y donde el volumen horario de proyecto excede del 20% de la capacidad de diseño para dicha pendiente en el caso de caminos de dos carriles, y del 30% en el de varios carriles.
- 7- Cuando se trata de salvar desniveles apreciables, deberá procurarse disponer las pendientes más fuertes al comenzar el ascenso.
- 8- Donde las intersecciones a nivel ocurren en tramos de camino con pendientes de moderadas a fuertes, es deseable reducir la pendiente a través de la intersección.

8.3.1. Curvas Verticales.

En términos generales existen curvas verticales en crestas o convexas y en columpio o cóncavas. Las primeras se diseñan de acuerdo a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. La configuración parabólica de estas curvas es la más frecuentemente utilizada.

En términos generales existen curvas verticales en crestas o convexas y en columpio o cóncavas. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. La configuración parabólica de estas curvas es la más frecuentemente utilizada.

8.3.2. Curvas verticales en cresta o convexas.

Existen dos condiciones para diseñar este tipo de curvas: la primera considera que la longitud de la curva (L) es mayor que la distancia de visibilidad de parada (S) y la segunda se presenta cuando L es mayor que la S.

Cuando: $L > S$. Método AASHTO.

$$L = \frac{G * S^2}{100 * (\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \quad \text{Ecuación 8 – 13}$$

Donde,

G= Diferencia algebraica de pendientes (%)

S = Distancia de visibilidad.

h1 = Altura del ojo del conductor.

h2 = Altura del objeto

Reemplazando en esta fórmula la altura del ojo del conductor $h_1 = 1.07$ metros y del objeto $h_2 = 0.15$ metros, la ecuación para diseño es la siguiente:

$$L = \frac{G * (S)^2}{404.25} \quad \text{Ecuación 8 – 14}$$

Cuando: $L < S$; Método AASHTO.

$$L = 2 * S - \frac{404.25}{G} \quad \text{Ecuación 8 – 15}$$

Estos términos tienen igual significado que los anteriormente señalados.

La información sobre distancias de visibilidad de parada presentada en la tabla 8-5 es utilizada en el cálculo de la longitud de curvas en cresta. Se abrevian las operaciones al tomar en cuenta que la distancia de visibilidad es constante para una velocidad de diseño dada; entonces, L puede ser relacionada con la diferencia algebraica de pendientes por medio de un factor denominado K, que en sí identifica la curva. La longitud de la curva vertical utilizando el factor K es:

$$L = K.G \quad \text{Ecuación 8-16}$$

Tabla 8-5. Tasa de curvatura para curvas en cresta

Velocidad de Diseño Km/h	Velocidad de marcha Km/h	Distancia de parada para diseño (m)	Tasa de curvatura vertical K, long (m) por % de G*	Distancia mínima de adelantam. para Diseño (m)*	Tasa de curvatura vertical, K, long (m) por % de G*
30	30-30	30-30	3-3	217	50
40	40-40	45-45	5-5	285	90
50	47-50	60-65	9-10	345	130
60	55-60	75-85	14-18	407	180
70	67-70	95-110	22-31	482	250
80	70-80	115-140	32-49	541	310
90	77-90	130-170	43-71	605	390
100	85-100	160-205	62-105	670	480
110	91-110	180-245	80-151	728	570

* Valores redondeados

Fuente: SIECA. (2004). *Manual para el diseño de pavimento*.

8.3.3. Curvas verticales en columpios o cóncavas.

Se presentan dos casos a considerar en el primer criterio, dependiendo si la distancia iluminada por los faros del vehículo es mayor o no que la longitud de la curva. Cuando la longitud de curva, L, es mayor que la distancia de visibilidad iluminada, S, se utiliza la fórmula que sigue:

$$L = G * S^2 / (120 * 3.5 * S) \quad \text{Ecuación 8-17}$$

Donde,

L = Longitud mínima de curva vertical en columpio, m.

S= Distancia de visibilidad iluminada por los faros del vehículo, m.

G= Diferencia algebraica entre pendientes de la curva, %.

Cuando $L < S$, la fórmula utilizada es la siguiente:

$$L_{\min} = 2 * S - (120 * 3.5 * S) / G \quad \text{Ecuación 8-18}$$

Estos términos tienen igual significado que los anteriores.

Se considera una altura de los faros de 0.6 metros y un ángulo de 1° de divergencia de los rayos de luz. En el desarrollo de las fórmulas de este criterio y para su aplicación en diseño, se recomienda utilizar los rangos de distancias de visibilidad de parada, que sean aproximadamente iguales a la distancia iluminada por los faros de los vehículos cuando viajan a la velocidad de diseño.

El segundo criterio basado en la comodidad, tiene su fundamento en la suspensión de la carrocería de los vehículos, el peso que mueve, la flexibilidad de las llantas, los tipos de asientos, entre otros. Se reconoce que la operación confortable de vehículos en

curvas en columpio, se logra cuando la aceleración centrífuga alcanza 0.3m/seg^2 , que incorporado a la fórmula de diseño, resulta:

$$L = \frac{GV^2}{395} \quad \text{Ecuación 8-19}$$

Siendo el significado de los componentes de esta ecuación iguales a los utilizados con anterioridad.

Las longitudes de curvas calculadas utilizando este criterio equivalen al 50% de los correspondientes a la modalidad anterior.

El tercer criterio persigue la satisfacción de las necesidades del drenaje en las curvas en columpio. Un criterio recomendado para el diseño consiste en dotar una pendiente de 0.3 por ciento dentro de los 15 metros del punto a nivel del terreno, sus resultados son muy similares a los obtenidos de la fórmula $L = KG$, cuando $K = 51$ y la velocidad de diseño es de 100 kilómetros por hora.

Hay que aclarar que las longitudes calculadas para efecto de drenaje son máximas hasta 100 kilómetros por hora y no mínimas, como en los demás criterio de diseño de curvas verticales. Después de 100 hasta 120 Kilómetros por hora, las longitudes son mínimas, al igual que los otros criterios.

Cuando se trata de tomar en cuenta aspectos de estética en estas curvas, existe la fórmula empírica $L = 30G$, siendo L la longitud mínima y G la diferencia algebraica de pendientes. Los resultados obtenidos son similares a los que corresponden al criterio de la distancia iluminada por los faros de vehículos para velocidades de 70 - 80 kilómetros por hora.

En atención a la diferencia de longitudes de curva que se obtienen aplicando los criterios mencionados, se recomienda diseñar curvas verticales en columpio utilizando el primer criterio descrito, dando especial consideración al drenaje cuando K es mayor de 51.

De igual manera en que fueron calculados los valores de diseño de las curvas en cresta, también es conveniente expresar los controles de diseño de las curvas en columpio en términos de K para todos los valores de G . Con estas bases se ha preparado la tabla 8-6, que se presenta seguidamente.

Tabla 8-6. *Controles de diseño para curvas verticales en columpio*

Velocidad de diseño Km/h	Rango de velocidad de marcha Km/h	Coeficiente de fricción	Valores DVP (m)		Factor K de diseño *
			Menores	Mayores	
30	30-30	0.40	30	30	4-4
40	40-40	0.38	45	45	8-8
50	47-50	0.35	60	65	11-12
60	55-60	0.33	75	85	15-18
70	63-70	0.31	95	110	20-25
80	70-80	0.30	115	140	25-32
90	77-90	0.30	130	170	30-40
100	85-100	0.29	160	205	37-51
110	91-110	0.28	180	245	43-62

* Cifras redondeadas

Fuente: SIECA. (2004). *Manual para el diseño de pavimento*.

8.4. Intersecciones

Se denomina intersección al área donde dos o más carreteras se intersectan, ya sea uniéndose o simplemente cruzándose. A cada vía que sale o llega a una intersección se le puede identificar como ramal o acceso de la intersección. A los elementos que unen las distintas ramas de una intersección se les conoce como enlaces (SIECA, 2004).

Criterios de selección y diseño de las intersecciones

Es necesario hacer ciertas consideraciones iniciales, consideraciones básicas de alcance general, sobre el diseño de las intersecciones de las carreteras:

- El diseño de las intersecciones de una carretera debe corresponder en un todo a su función, responder así a las necesidades de los vehículos automotores que se interceptan o mezclan en dicha área de encuentro.
- La seguridad en las intersecciones, depende en gran medida de su percepción por los usuarios, de la facilidad con que la geometría y el funcionamiento de la misma es percibida desde lejos y en sus proximidades, y comprendida por automovilistas y peatones. En este sentido, resulta importante el mantenimiento de una cierta homogeneidad en el diseño de las intersecciones a lo largo de una carretera. Asimismo, debe tenerse en mente el propósito del cruce y que sus aproximaciones constituyan un conjunto coherente.
- En las intersecciones a nivel, puede ser útil el empleo de materiales especiales en la superficie de rodadura, que sean visibles día y noche y que de marquen el espacio del cruce.

- Desde el punto de vista de la geometría del diseño, deben establecerse con cierta exactitud los radios de giro, en función de diseño, y proyectarse en forma consecuente las islas y contornos de la intersección.

8.4.1. Conceptos generales de una intersección.

Dentro del área de una intersección, se realizan maniobras de divergencia o separación, convergencia o integración y cruce, a las cuales se debe añadir las maniobras de entrecruzamiento. Todas estas maniobras son fuente de conflictos, no solo para el conductor que realiza la maniobra misma, sino que puede abarcar también a otros vehículos que se aproximan a la zona de conflicto, en la cual los conductores involucrados en el propio uso de la intersección, pueden causar trastornos o problemas a los demás conductores que operan hacia delante o hacia atrás de la intersección.

Divergencia o separación: es la maniobra más sencilla y, por lo tanto, la menos conflictiva de las que se realizan en una intersección. El área de conflicto comienza en el punto donde se reduce la velocidad del vehículo que se separa de la corriente, afectando al vehículo que va detrás de él a distancia prudencial, hasta que complete la maniobra.

Convergencia o integración: esta no puede realizarse a voluntad del conductor, sino que debe ser diferida hasta que exista un espacio adecuado entre dos vehículos que circulen por el carril al cual se va a incorporar. El área de conflicto se extiende hasta donde el vehículo que converge alcanza la velocidad de la corriente en dicho carril.

Entrecruzamiento: es donde se identifica el cruce de dos corrientes de tránsito que circulan en un mismo sentido y se efectúa mediante sucesivas maniobras de convergencia y separación. La zona de entrecruzamiento la constituye un camino de un sentido de circulación, cuya longitud y ancho determina la posibilidad de que en forma segura se realicen las maniobras de convergencia en un extremo y de divergencia en el extremo opuesto.

En las zonas de entrecruzamiento las operaciones deben realizarse a una baja velocidad relativa, para obtener mayor seguridad con un mínimo de demora para los usuarios. La longitud de la zona de entrecruzamiento determina el tiempo de maniobra disponible para los usuarios de la instalación.

El área de conflicto del cruce ocurre a una distancia del área de posible colisión hacia atrás, tanto del vehículo que cruza como de los vehículos que facilitan dicho cruce en la intersección.

8.4.2. Elección y clasificación del tipo de intersección a utilizar.

Elección del tipo de intersección.

La elección del tipo de intersección es clave en el diseño de las carreteras, ya que estas condicionan ampliamente la capacidad de la red, la seguridad de su funcionamiento y la integración de la carretera en el medio en que se localiza.

La elección del tipo de intersección depende de varios factores, entre los que se mencionan:

- Características geométricas de las vías que se intersectan y del tránsito que las utiliza, así como el número e importancia jerárquica de las carreteras que convergen en el sitio. Los volúmenes y la clasificación del tránsito, las proporciones de giros a la izquierda, a la derecha y cruces directos. También se dará importancia al movimiento peatonal, de ciclistas y otros. La regulación tendrá especial relevancia para la elección del tipo de diseño.
- Condiciones del sitio: la topografía, la disponibilidad y costos del terreno, las condiciones de visibilidad, las características y exigencias del ambiente y la posibilidad de usar materiales especiales en el pavimento, que sean visibles día y noche para delimitar el espacio de cruce.

Clasificación general.

En general se clasifican las intersecciones de la siguiente manera, mencionadas en orden creciente de importancia y complejidad en su diseño:

- Intersecciones convencionales al mismo nivel.
- Intersecciones canalizadas.
- Intersecciones controladas por semáforos.
- Rotondas o intersecciones giratorias.
- Intersecciones a distinto nivel e intercambios.

Las intersecciones convencionales a nivel han sido el más común de diseño de cruces de carreteras en el pasado. Hoy día, continúan siendo el tipo de intersección más común en áreas urbanas, suburbanas y rurales de Centroamérica.

Numerosas guías y recomendaciones limitan la utilidad de las intersecciones a nivel, canalizadas o no, a volúmenes reducidos de tránsito y definen su campo de utilización a aquellos casos en que no son necesarios el resto de los tipos de intersecciones.

Concretamente, las intersecciones convencionales a nivel pueden justificarse:

- Cuando los recorridos no tiene un marcado carácter de tránsito a larga distancia.

- Cuando no se trata de un único cruce a nivel, sino de una sucesión de pasos preseñalizados, de diseño similar, que evita el efecto sorpresa.
- Cuando el tránsito es inferior a cierto umbral, que algunas publicaciones establecen máximo 350 vehículos por hora para la vía secundaria y 900 vehículos por hora para la principal.

Por otra parte, se recomienda la disposición de islas canalizadoras sobre la vía secundaria, para intensidades de tránsito superiores a los 5,000 vehículos promedio por día.

El proceso de selección del diseño.

Para seleccionar el tipo de intersección, existen aspectos generales a considerar, pero la figura 8-3 muestra en forma simplificada una combinación de soluciones posibles de diseño de las intersecciones, en función de los volúmenes de tránsito, tanto en la vía principal como en la secundaria que intercepta la primera.

El diseño de las intersecciones es sensitivo a condiciones variadas de operaciones de tránsito y sus dimensiones se relacionan directamente con las características operativas que se desean.

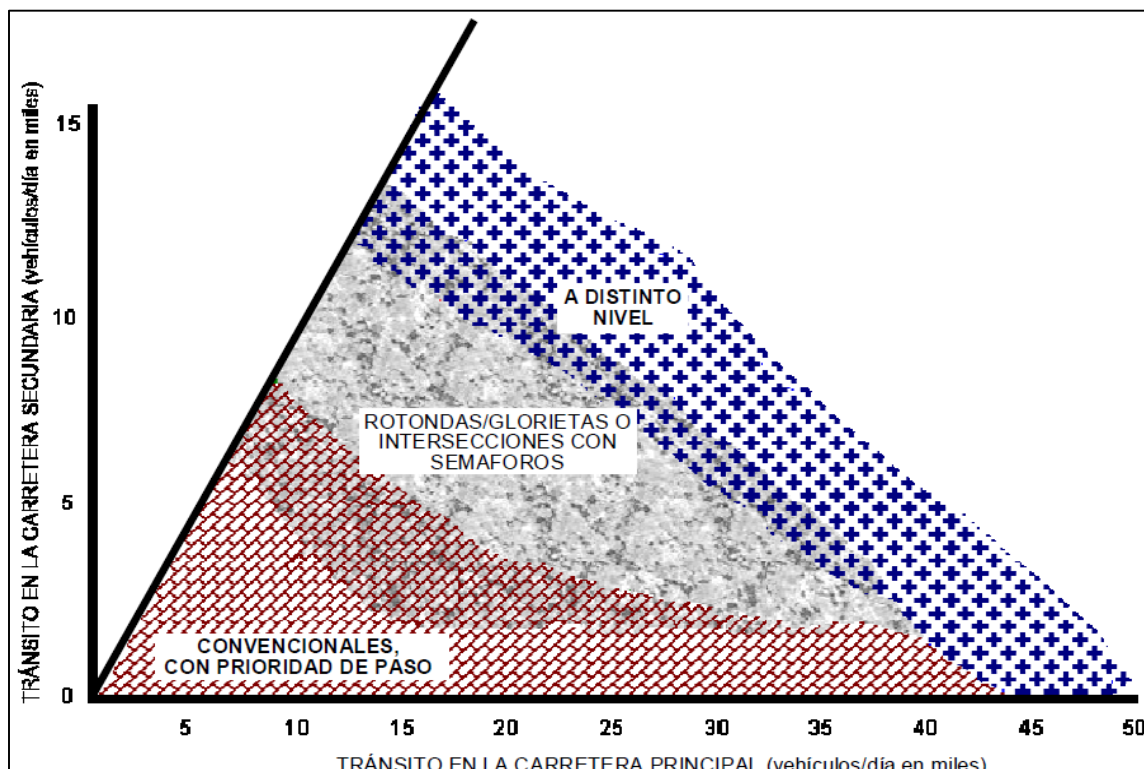


Figura 8-4. Tipos de intersecciones para diferentes volúmenes de tránsito.

Fuente: SIECA. (2004). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de carreteras.*

Tipos de intersecciones.

Intersecciones de cuatro ramales: al igual que las intersecciones en T, las intersecciones de cuatro ramales resultan apropiadas para cruces de caminos de bajos volúmenes de tránsito que intersectan carreteras de moderado o mucho volumen. En una intersección común de cuatro ramales o accesos y circulación en ambos sentidos el número de conflictos es de 32; como se puede apreciar en la siguiente figura.

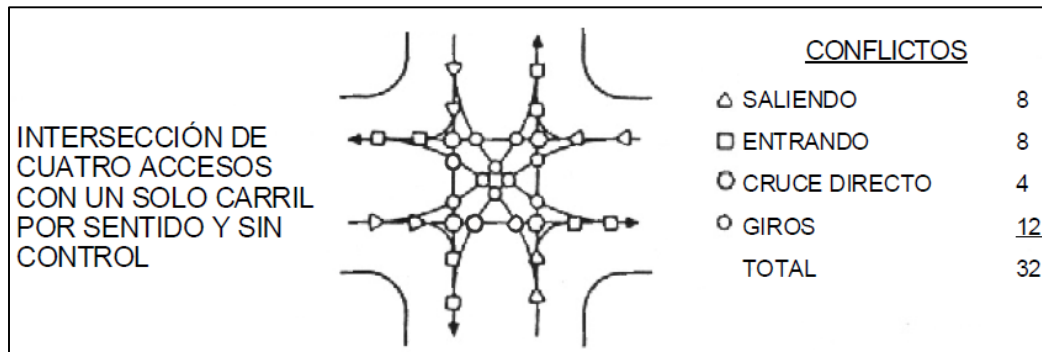


Figura 8-5. *Intersección de cuatro ramales.*

Fuente: SIECA. (2004). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de carreteras.*

Intersecciones en T: las intersecciones de tres accesos o en T, sin canalizaciones, son comunes y se diseñan para situaciones bien identificadas de bajos volúmenes de tránsito, con poca presencia de vehículos pesados. Es usual incorporar este tipo de diseño en intersecciones de carreteras de dos carriles de circulación.

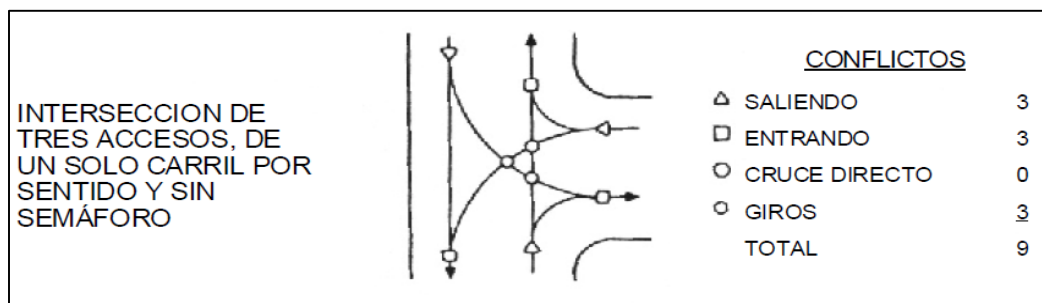


Figura 8-6. *Intersección en T.*

Fuente: SIECA. (2004). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de carreteras.*

8.4.3. Elementos de diseño geométrico.

Orientaciones básicas para el alineamiento y el perfil longitudinal.

Como regla general, el alineamiento de una intersección a nivel debe ser en tangente y las pendientes tan suaves como ello sea posible. Aunque son las condiciones del terreno las que dictan la última palabra, es bajo esas condiciones ideales que los conflictos entre vehículos, peatones y ciclistas se reducen pues al usuario se le da tiempo para percibir, discernir y realizar las maniobras necesarias para pasar por la intersección, ocasionando un mínimo de interferencias.

Por consideraciones de economía en los costos y seguridad en las operaciones, las carreteras deben interceptarse en ángulo recto o lo más cercano a dicho ángulo (hasta un ángulo de 75 grados se considera generalmente deseable, un ángulo de 60 grados puede ser una valoración máxima permisible). Las intersecciones en ángulo agudos, requieren amplias áreas para las maniobras de giros, o sea que incrementan las áreas de exposición a los peligros, y tienden a limitar la visibilidad, sobre todo de los conductores de vehículos de carga.

La práctica de realinear las intersecciones en ángulo agudo a un ángulo recto o cercano a recto, tiene beneficios importantes para el diseño y su funcionamiento. La situación ideal se presenta cuando el realineamiento permite que en el camino secundario se alcancen velocidades de operación igual o equiparable a las de la carretera principal.

En lo que se refiere al perfil longitudinal, se insiste en conservar las distancias de visibilidad a lo largo de las carreteras y de la intersección misma, por lo que debe evitarse la combinación de gradientes que hacen difícil el control de los vehículos.

Las distancias calculadas para aceleración y parada de automóviles en pendientes de tres por ciento o menos, difieren muy poco de las distancias a nivel. Pendientes mayores de tres por ciento requieren ajustes en los factores de diseño para producir condiciones equiparables a la situación a nivel.

Curvatura para giros.

Los parámetros más importantes que se utilizan en el diseño geométrico de las intersecciones son el vehículo de diseño, el ángulo de giro, el radio de los bordillos, el ancho de los carriles y el tamaño o área de la isla, cuando exista propósito de construir una intersección canalizada.

Estos elementos de diseño son determinados en muchos casos por el comportamiento de los vehículos pesados en la corriente del tránsito, cuyas dimensiones y características de giro, establecen las diferencias en la trayectoria del voladizo frontal

y la rueda trasera interna, cuando giran en la intersección. También se pueden tomar en cuenta las características operacionales, los costos de construcción y mantenimiento de las intersecciones, la presencia de los peatones, ciclistas y otros tipos de vehículos a motor; asimismo, el tipo de control del tránsito y la disponibilidad del derecho de vía.

Los vehículos de diseño recomendados para las carretas conforman los datos de diseño mostrados en la tabla 8-7, donde se presentan las dimensiones de los radios de las trayectorias de la rueda trasera interior y del voladizo frontal de los diferentes tipos de vehículos. La trayectoria mínima del paso de vehículos de diseño se aplica en aquellas intersecciones no canalizadas, que demandan un espacio reducido a su mínima expresión.

El paso de los vehículos de diseño en las carreteras, cuando giran en una intersección a velocidades de 15 kilómetros por hora o menos, permiten alguna libertad a los conductores, porque en la realidad estos vehículos necesitan un espacio menor. La tabla 8-8 Contiene las trayectorias mínimas para giros de los vehículos de diseño cuando circulan en una intersección con curvas con transición simple y cuando transitan en curvas compuestas de tres centros.

Tabla 8-7. Radios de curvas simples según vehículo de diseño

Angulo de Giro (Grado)	Vehículo de diseño	Radio de curva simple (m)	Radio de curvatura con transacion simple		
			Radio (m)	Separacion de Bordos (m)	Transacion (m/m)
30	P	18			
	SU	30	-	-	-
	WB-15	60	-	-	-
	WB-19	110	67	1.0	15:01
	WB-20	110	67	1.0	15:01
45	P	15	-	-	-
	SU	23	-	-	-
	WB-15	53	36	0.6	15:01
	WB-19	70	43	1.2	15:01
	WB-20	76	43	1.3	15:01
60	P	12	-	-	-
	SU	18	-	-	-
	WB-15	45	29	1.0	15:01
	WB-19	50	43	1.2	15:01
	WB-20	60	43	1.3	15:01
75	P	11	8	0.6	10:01
	SU	17	14	0.6	10:01
	WB-15	-	20	1.0	15:01
	WB-19	-	43	1.2	20:01
	WB-20	-	43	1.3	20:01
90	P	9	6	0.8	10:01
	SU	15	12	0.6	10:01
	WB-15	-	18	1.2	15:01
	WB-19	-	36	1.2	30:01
	WB-20	-	37	1.3	30:01

Fuente: SIECA. (2004). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de carreteras*.

Tabla 8-8. *Radio mínimo de giro de los vehículos de diseño*

Vehículo-Tipo	Radio interior (m)	Radio de diseño (m)
Automóvil, P	4.2 (4.7)	7.3 (7.3)
Autobús Sencillo, BUS	7.4	12.8
Camión Sencillo, SU	8.5(8.7)	12.8 (12.8)
Camión Articulado, WB-15	5.8 (6.0)	13.7 (13.7)
Camión Articulado, WB-19	2.8	13.7
Camión Articulado, WB-20	0	13.7

Fuente: SIECA. (2004). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de carreteras*.

8.4.4. Intersecciones en el tramo 2.

En el tramo de adoquinado propuesto para el municipio de El Tortuguero, la velocidad de circulación es baja y el volumen de tránsito es moderado; estas condiciones permiten el empleo de intersecciones convencionales a un mismo nivel.

Es importante resaltar que el volumen de máxima demanda durante el día es de 137 vehículos por hora, lo cual es menor de 350, y justifica la implementación de intersecciones convencionales a nivel en el tramo en estudio.

El tránsito promedio diario es de 1087, por motivos prácticos se considera igual para ambos caminos que se intersectan. Empleando la figura 8-3, resulta que el tipo de intersección que se puede emplear en dichas calles es el convencional.

En la estación 0+225.80 se localiza una intersección de cuatro ramales, se plantea diseñar una intersección convencional a nivel, ya que las condiciones de las calles que se interceptan lo permiten.

En las estaciones 0+501.16 y 0+561.16, existen intersecciones; estas son de tres accesos. Por ellas circula un bajo volumen vehicular y hay muy poca presencia de automotores pesados, por tanto se propone la construcción de intersecciones en T, sin canalización.

En las tres intersecciones que se localizan en el tramo adoquinado, los ángulos son mayores a 75° por lo que no requieren de realineamiento. Los ángulos son 79°, 83° y 90° que corresponden a las estaciones 0+225.80, 0+501.16 y 0+561.16.

Las pendientes en las intersecciones no deben exceder el 6 por ciento de gradiente longitudinal; en el caso de este proyecto, ninguna pendiente del tramo en estudio excede el 6 %, ya que el mayor valor de pendiente es de 4.13%.

El vehículo de diseño SU, corresponde a autobuses y camiones de dos y tres ejes. Por siguiente, el camión C3, que es el vehículo de diseño para este proyecto (según los resultados del estudio de tránsito) está considerado dentro de esta categoría (vehículo SU). Considerando esto, y un ángulo de giro de 75 grados, con base en la tabla 8-8; entonces, el radio de curva simple para las intersecciones en el tramo de pavimento semi-rígido, es de: 17 m. Este radio de curva permitirá a los conductores tener más comodidad y más seguridad al usar las intersecciones, ya que es un poco mayor que el radio de giro mínimo (12.8 m) para este tipo de vehículos (ver tabla 8-8).

8.5. Memoria de cálculo

Aquí solo se harán algunos cálculos introductorios, como tablas de datos de entrada para algunas curvas horizontales y curvas verticales, los demás cálculos se presentarán en tablas extraídas del software utilizado para el respectivo diseño geométrico de tramo de vía (CivilCAD V.14); sin embargo, se usará como referencia el Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, SIECA (2004), para todos los parámetros que se necesiten determinar en dicho diseño.

8.5.1. Diseño geométrico para el tramo 1 (T1).

Alineamiento horizontal para Tramo 1 (T1).

Existen 7 puntos de inflexión en toda la vía, y por lo tanto, se diseñarán la misma cantidad de curvas horizontales, encontrándose en los siguientes estacionamientos:

$$PI_1 = 0 + 080.00; PI_2 = 0 + 110.22; PI_3 = 0 + 309.68; PI_4 = 0 + 447.22;$$

$$PI_5 = 0 + 526.84; PI_6 = 0 + 727.20; PI_7 = 0 + 836.55;$$

Velocidad de diseño: 30 Km/h.

Peralte máximo, e: 4% (ver tabla 8-1).

Factor de fricción máxima, f: 0.17 (ver tabla 8-2).

Según la tabla 8-3 de radios mínimos y grados de curvaturas máximos según los datos anteriores de diseño del proyecto, resulta lo siguiente.

Nota: los valores aquí calculados no son necesariamente los mismos datos usados en la ejecución del software (CivilCAD V.14), solamente representan el debido uso de la guía técnica, aplicable a cada diseño

$$R_{\min} = (30)^2 / 127.15 (0.04 + 0.17) = 33.7 \text{ m}$$

$$G_{\max} = 1145.92 / 33.7 = 33^\circ 59' 51''$$

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Diseño de las curvas horizontales del proyecto:

Curva horizontal 1:

$$R_c = \frac{15}{\tan\left(\frac{32^\circ 09' 26''}{2}\right)} = 52 \text{ m}; R_{\min} < R_c; \textbf{OK}.$$

$$G_D = \frac{1145.92}{52.0} = 22^\circ 02' 92''; G_D < G_{\max}; \textbf{OK}.$$

$$CM = 2 * 52 * \sin\left(\frac{32^\circ 09' 26''}{2}\right) = 28.8 \text{ m}$$

$$E = 52 * \left(\sec\left(\frac{32^\circ 09' 26''}{2}\right) - 1\right) = 2.1 \text{ m}$$

$$M = 52 * \left(1 - \cos\left(\frac{32^\circ 09' 26''}{2}\right)\right) = 2.0 \text{ m}$$

$$D_c = \left(\frac{\pi * 52 * 32^\circ 09' 26''}{180^\circ}\right) = 29.2 \text{ m}$$

$$S = \left\{2 \left[52 - \sqrt{(52^2 + 6.1^2)}\right] + \frac{0.10 * 30}{\sqrt{52}}\right\} = -0.2971; \textbf{Por tanto, no usar}.$$

Tabla 8-9. Datos para el diseño geométrico de la Curva horizontal 1 del tramo 1

Parámetros	Valor	Según normativa	Observación
Datos de entrada			
Peralte máximo, (e)	0.04	4% (zona urbana)	
coeficiente de fricción lateral, (f)	0.17		
Tangente Propuesta, (T)	15		
Ángulo de deflexión (Δ)	32°9'26"		
Velocidad de diseño, (Km/h)	30		
Radio mínimo del proyecto, (R _{min})	33.7		
Grado de curvatura del proyecto, (G _c)	33°59'51"		
Resultados al aplicar las ecuaciones			
Radio de diseño de la curva circular (R _c)	52.0	R _{min} < R _c	Cumple
Grado de diseño de la curva circular (G _D)	22°2'13"	G _D < G _c	Cumple

Fuente: *Elaboración propia*. (2016).

En la tabla 8-9 se muestra a manera de ejemplo los datos para realizar el diseño geométrico de una curva horizontal; y en la tabla siguiente se muestran los elementos geométricos de las curvas horizontales arrojados por el software CivilCAD.

Tabla 8-10. Diseño geométrico de curvas horizontales para el tramo 1 (T1)

Curva	ESTACION		deflexión	CUERDA INVERSA	DATOS DE CURVA	Azimuth
	KM	TIP O				
1	0+069.35	PC		9.350	D = 34° 6' 46.97" izq	204° 18' 11.89"
	0+080.00		351° 12' 48.59"	10.609	ST = 10.654	195° 31' 0.48"
	0+090.02	PT	342° 56' 36.52"	20.371	PI = 0+080.00	187° 14' 48.41"
					Gc = 33° 0' 0.00"	
					Lc = 20.675	
					Rc = 34.725	
2	0+101.07	PC		1.066	D = 28° 22' 44.36" de	170° 11' 24.92"
	0+117.76	PT	14° 11' 22.18"	16.523	ST = 8.522	184° 22' 47.10"
					PI = 0+109.59	
					Gc = 34° 0' 0.00"	
					Lc = 16.694	
					Rc = 33.703	
3	0+276.26	PC		16.263	D = 3° 20' 28.79" der	198° 34' 9.28"
	0+280.00		0° 5' 36.29"	3.737	ST = 33.423	198° 39' 45.57"
	0+300.00		0° 35' 36.29"	23.736	PI = 0+309.69	199° 9' 45.57"
	0+320.00		1° 5' 36.29"	43.734	Gc = 1° 0' 0.00"	199° 39' 45.57"
	0+340.00		1° 35' 36.29"	63.728	Lc = 66.827	200° 9' 45.57"
	0+343.09	PT	1° 40' 14.40"	66.817	Rc = 1145.916	200° 14' 23.68"
4	0+446.28	PC		6.276	D = 0° 1' 25.54" izq	201° 54' 38.07"
	0+448.18	PT	359° 59' 17.23"	1.901	ST = 0.950	201° 53' 55.30"
					PI = 0+447.23	
					Gc = 0° 15' 0.00"	
					Lc = 1.901	
					Rc = 4583.662	
5	0+513.56	PC		13.563	D = 3° 59' 3.74" der	201° 53' 12.53"
	0+520.00		0° 28' 58.12"	6.437	ST = 13.287	202° 22' 10.66"
	0+540.00		1° 58' 58.12"	26.432	PI = 0+526.85	203° 52' 10.66"
	0+540.12	PT	1° 59' 31.87"	26.557	Gc = 3° 0' 0.00"	203° 52' 44.41"
					Lc = 26.562	
					Rc = 381.972	
6	0+715.81	PC		15.806	D = 1° 8' 24.90" der	205° 52' 16.28"
	0+720.00		0° 6' 17.42"	4.194	ST = 11.403	205° 58' 33.70"
	0+738.61	PT	0° 34' 12.45"	22.805	PI = 0+727.21	206° 26' 28.73"
					Gc = 1° 0' 0.00"	
					Lc = 22.805	
					Rc = 1145.916	
7	0+821.24	PC		1.237	D = 3° 3' 44.20" der	207° 0' 41.17"
	0+840.00		0° 56' 17.40"	18.763	ST = 15.315	207° 56' 58.58"
	0+851.86	PT	1° 31' 52.10"	30.619	PI = 0+836.55	208° 32' 33.28"
					Gc = 2° 0' 0.00"	
					Lc = 30.623	
					Rc = 572.958	

Fuente: *Elaboración propia.* (2016)

Alineamiento vertical para tramo 1 (T1).

Existen 12 puntos de inflexión vertical en toda la vía, de acuerdo al nivel de la subrasante adaptada al terreno existente (calles embaldosadas o embastradas), y por lo tanto, se diseñarán la misma cantidad de curvas verticales en cresta o en columpio, encontrándose en los estacionamientos que se presentan en la tabla 8-11; además de parámetros para el diseño de cada una de las curvas verticales:

Nota: Al igual que para el diseño de las curvas horizontales calculadas anteriormente, estos valores calculados no representan exactamente los usados en la ejecución del software; sin embargo, los datos usados cumplen con su respectiva norma técnica.

Curva vertical 1

Datos de entrada:

Velocidad de diseño= 30 Km/h

Est. PIV 1= 0+020.001

G (diferencia de pendiente)= 1.84% > 0.50 % (pendiente mínima).

Cálculo de la distancia de visibilidad de parada, utilizando las ecuaciones 8-1 y 8-3:

La distancia de visibilidad de parada en su primer componente, D1, se calcula involucrando la velocidad y el tiempo de percepción y reacción del conductor, de la forma siguiente:

$$D_1 = 0.278 * 30 \frac{Km}{h} * 2.5 \text{ seg} = 20.85 \text{ m}$$

La distancia de frenado D2:

$$D_2 = \frac{(30 \text{ Km/h})^2}{254 * (0.40 + 1.84)} = 1.58 \text{ m}$$

Entonces, la velocidad de parada es:

$$DVP (S) = D_1 + D_2 = 20.85 + 1.58 = \mathbf{22.43 \text{ m}}$$

Cálculo de la longitud mínima de la curva vertical (usando el método AASHTO con la ecuación 8-14):

$$L = \frac{1.84 * 22.43^2}{404.25} = 2.29 \text{ m} < DVP$$

Por motivos estéticos, se usará una longitud de curva L= 10 m para la curva vertical 1.

Los parámetros de las demás curvas verticales del tramo, solamente se presentarán en la tabla que se muestra a continuación.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 8-11. Longitud de diseño de curvas verticales del tramo (T1)

Puntos de Inflexión	Estac.	Tipo de Curva	Diferencia de Pendientes	Distancia de Percepción	Distancia de Frenado (D2)	Distancia de Vel. de Parada (DVP)	Longitud de la Curva (Lmin)			Usando $L_{min}=K \cdot G$	Longitud de diseño
							L<DVP	L>DVP	Usar		
PIV1	0+020.001	Cresta	1.81	20.85	1.60	22.45	2.2573	-178.436	2.2573	5.43	10
PIV2	0+040.004	Cresta	2.35	20.85	1.29	22.14	2.84914	-127.744	2.84914	7.05	10
PIV3	0+080.223	Columpio	8.57	20.85	0.40	21.25	19.9019	19.81121	19.9019	25.71	30
PIV4	0+129.456	Cresta	2.58	20.85	1.19	22.04	3.09995	-112.608	3.09995	7.74	20
PIV5	0+218.590	Columpio	1.26	20.85	2.13	22.98	1.64661	-274.864	1.64661	3.78	20
PIV6	0+283.685	Cresta	3.1	20.85	1.01	21.86	3.66527	-86.6785	3.66527	9.3	20
PIV7	0+447.900	Cresta	1.71	20.85	1.68	22.53	2.14705	-191.345	2.14705	5.13	20
PIV8	0+525.181	Columpio	2.44	20.85	1.25	22.10	2.94735	-121.481	2.94735	7.32	20
PIV9	0+682.512	Cresta	2.83	20.85	1.10	21.95	6.92595	-25.6518	6.92595	8.49	20
PIV10	0+726.341	Columpio	1.67	20.85	1.71	22.56	2.10287	-196.942	2.10287	5.01	20
PIV11	0+819.414	Cresta	3.05	20.85	1.03	21.88	7.4261	-20.695	7.4261	9.15	20
PIV12	0+864.190	Columpio	3.06	20.85	1.02	21.87	3.62185	-88.3597	3.62185	9.18	20

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla 8-12. Datos de curvas verticales del tramo 1 (T1)

Datos de curva (1)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
1.176	-0.633	0+020.001	100.3231	10.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) =			1.808%	Tipo de curva:	En cresta
Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)		
PCV	0+015.001	100.264	100.264		
PTV	0+025.001	100.292	100.292		
Datos de curva (2)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
-0.633	-2.979	0+040.004	100.1966	10.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) =			2.346%	Tipo de curva:	En cresta
Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)		
PCV	0+035.004	100.228	100.228		
PTV	0+045.004	100.048	100.048		
Datos de curva (3)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
-2.979	5.593	0+080.223	98.6386	30.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) =			-8.572%	Tipo de curva: En columpio	
Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)		
PCV	0+065.223	99.085	99.085		
PTV	0+085.223	98.918	99.061		
PTV	0+095.223	99.478	99.478		
Datos de curva (4)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
5.593	3.015	0+129.456	101.7521	20.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) =			2.578%	Tipo de curva: En cresta	
Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)		
PCV	0+119.456	101.193	101.193		
PTV	0+139.456	102.054	102.054		
Datos de curva (5)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
3.015	4.274	0+218.590	104.4391	20.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) =			-1.259%	Tipo de curva: En columpio	
Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)		
PCV	0+208.590	104.138	104.138		
PTV	0+228.590	104.866	104.866		
Datos de curva (6)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
4.274	1.174	0+283.685	107.2212	20.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) =			3.100%	Tipo de curva: En cresta	
Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)		
PCV	0+273.685	106.794	106.794		
PTV	0+293.685	107.339	107.339		

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 8-12-1. Datos de curvas verticales del tramo 1 (T1)

Datos de curva (7)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
1.109	-0.599	0+447.900	109.0493	20.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) =				1.708%	Tipo de curva: En cresta
Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)		
PCV	0+437.900	108.938	108.938		
PTV	0+457.900	108.989	108.989		
Datos de curva (8)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
-0.599	1.836	0+525.181	108.5868	20.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) =				-2.435%	Tipo de curva: En columpio
Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)		
PCV	0+515.181	108.647	108.647		
PTV	0+535.181	108.770	108.770		
Datos de curva (9)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
1.836	-0.996	0+682.512	111.4754	20.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) =				2.832%	Tipo de curva: En cresta
Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)		
PCV	0+672.512	111.292	111.292		
PTV	0+692.512	111.376	111.376		
Datos de curva (10)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
-0.996	0.672	0+726.341	111.0391	20.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) =				-1.667%	Tipo de curva: En columpio
Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)		
PCV	0+716.341	111.139	111.139		
PTV	0+736.341	111.106	111.106		
Datos de curva (11)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
0.672	-2.382	0+819.414	111.6644	20.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) =				3.054%	Tipo de curva: En cresta
Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)		
PCV	0+809.414	111.597	111.597		
PTV	0+829.414	111.426	111.426		
Datos de curva (12)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
-2.382	0.673	0+864.190	110.5978	20.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) =				-3.055%	Tipo de curva: En columpio
Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)		
PCV	0+854.190	110.836	110.836		
PTV	0+874.190	110.665	110.665		

Fuente: Elaboración propia. (2016).

8.5.2. Diseño geométrico para el tramo 2 (T2).

Alineamiento horizontal para tramo 2 (T2).

A través del estudio topográfico realizado en el tramo donde se pretende construir pavimento semi-rígido, se identificó la existencia de 6 puntos de inflexión en los cuales es necesario la construcción de curvas horizontales. Con la ayuda del software CivilCAD se llevó acabo el diseño geométrico de dichas curvas; el cual se efectuó considerando y respetando la normativa establecida por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA, 2004).

En la siguiente tabla se muestra los elementos geométricos de las curvas obtenidos con el programa.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 8-13. *Diseño geométrico de curvas horizontales en el tramo 2*

Curva	Estación		Deflexión	Cuerda inversa	Datos de curva	Azimuth
	KM	TIPO				
1	0+004.57	PC		4.570	$\Delta = 98^{\circ} 6' 14.00''$ izq	252° 47' 30.00"
	0+020.00		337° 37' 37.08"	15.041	ST = 22.770	230° 25' 7.08"
	0+038.40	PT	310° 56' 53.00"	29.845	PI = 0+027.34	203° 44' 23.00"
					Gc = 58° 0' 0.00"	
					Lc = 33.829	
					Rc = 19.757	
2	0+255.44	PC		15.436	$\Delta = 23^{\circ} 52' 45.00''$ der	154° 41' 16.00"
	0+260.00		1° 42' 41.91"	4.564	ST = 16.154	156° 23' 57.91"
	0+280.00		9° 12' 41.91"	24.459	PI = 0+271.59	163° 53' 57.91"
	0+287.27	PT	11° 56' 22.50"	31.609	Gc = 15° 0' 0.00"	166° 37' 38.50"
					Lc = 31.839	
					Rc = 76.394	
3	0+299.45	PC		12.171	$\Delta = 94^{\circ} 24' 7.00''$ der	178° 34' 1.00"
	0+300.00		0° 49' 3.47"	0.554	ST = 20.975	179° 23' 4.47"
	0+320.00		30° 19' 3.47"	19.608	PI = 0+320.42	208° 53' 4.47"
	0+331.45	PT	47° 12' 3.50"	28.502	Gc = 59° 0' 0.00"	225° 46' 4.50"
					Lc = 32.001	
					Rc = 19.422	
4	0+409.11	PC		9.110	$\Delta = 6^{\circ} 10' 43.00''$ der	272° 58' 8.00"
	0+413.23	PT	3° 5' 21.50"	4.117	ST = 2.062	276° 3' 29.50"
					PI = 0+411.17	
					Gc = 30° 0' 0.00"	
					Lc = 4.119	
					Rc = 38.197	
5	0+582.43	PC		2.428	$\Delta = 31^{\circ} 20' 53.00''$ izq	106° 37' 26.00"
	0+600.00		354° 53' 21.85"	17.549	ST = 27.640	101° 30' 47.85"
	0+620.00		349° 4' 21.85"	37.345	PI = 0+610.07	95° 41' 47.85"
	0+636.32	PT	344° 19' 33.50"	53.224	Gc = 11° 37' 0.00"	90° 56' 59.50"
					Lc = 53.894	
					Rc = 98.503	
6	0+727.35	PC		7.349	$\Delta = 7^{\circ} 32' 50.00''$ izq	75° 16' 33.00"
	0+731.71	PT	356° 13' 35.00"	4.355	ST = 2.182	71° 30' 8.00"
					PI = 0+729.53	
					Gc = 34° 37' 0.00"	
					Lc = 4.358	
					Rc = 33.087	

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Alineamiento vertical para el tramo 2 (T2).

El perfil longitudinal del tramo en estudio permite la identificación de 6 curvas verticales. Las longitudes de curvas con las que fueron diseñadas estas curvas se muestran a continuación, cabe mencionar que dichas curvas longitudes fueron calculadas con la ecuación 8-16:

Tabla 8-14. Longitud de diseño de curvas verticales en tramo 2

CV	Tipo de curva	Diferencia algebraica de pendientes, G (%)	Tasa de curvatura vertical, K	Longitud mínima de curva, L (m)	Usar L (m)
1	En cresta	4.8	3	14.4	15
2	En columpio	4.7	3	14.1	15
3	En cresta	5.4	3	16.2	20
4	En columpio	3.1	3	9.3	15
5	En cresta	3.0	3	9.0	15
6	En cresta	2.8	3	8.4	15

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

De las 6 curvas que se ubican en el tramo, 4 son curvas en crestas y 2 en columpio. En la tabla siguiente (tabla 8-15) se muestran los datos de cada una de estas curvas.

Tabla 8-15. Datos de curvas verticales del tramo 2 (T2)

Datos de curva (1)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
4.051	-0.751	0+100.000	104.8606	15.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = 4.802%				Tipo de curva: En cresta	
Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)	
0	PCV	0+092.500	104.557	104.557	
1	PTV	0+107.500	104.804	104.804	
Datos de curva (2)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
-0.751	3.914	0+140.721	104.5548	15.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = -4.665%				Tipo de curva: En columpio	
Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)	
0	PCV	0+133.221	104.611	104.611	
1	PTV	0+148.221	104.848	104.848	
Datos de curva (3)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
3.914	-1.513	0+320.900	111.6067	20.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = 5.427%				Tipo de curva: En cresta	
Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)	
0	PCV	0+310.900	111.215	111.215	
1	PTV	0+330.900	111.455	111.455	
Datos de curva (4)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
-1.513	1.542	0+501.273	108.8774	15.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = -3.056%				Tipo de curva: En columpio	
Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)	
0	PCV	0+493.773	108.991	108.991	
1	PTV	0+508.773	108.993	108.993	
Datos de curva (5)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
1.542	-1.500	0+596.322	110.3434	15.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = 3.043%				Tipo de curva: En cresta	
Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)	
0	PCV	0+588.822	110.228	110.228	
1	PTV	0+603.822	110.231	110.231	
Datos de curva (6)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
-1.500	-4.254	0+755.348	107.9578	20.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = 2.754%				Tipo de curva: En cresta	
Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)	
0	PCV	0+745.348	108.108	108.108	
1	PTV	0+765.348	107.532	107.532	

Fuente: Elaboración propia. (2016).

Capítulo 9 : Evaluación de impacto ambiental

De acuerdo al *Decreto No 76-2006*, impacto ambiental es cualquier alteración significativa positiva o negativa de uno o más de los componentes del ambiente provocados por la acción humana y/o por acontecimientos de la naturaleza en un área de influencia definida.

Toda obra de ingeniería provoca modificaciones en la zona donde se lleva acabo, pero tomando las medidas necesarias, dichos cambios pueden disminuirse y en el mejor de los casos evitarse. La construcción de un tramo vial en el municipio de El Tortuguero traería consigo alteraciones del medio, por ese motivo en este acápite se presenta un análisis del impacto que causará dicho proyecto; esto con el fin de conocer y prevenir los efectos en el ambiente durante la ejecución. Asimismo, se incluyen medidas de mitigación para minimizar los impactos negativos.

9.1. Marco legal

La Ley No. 217, Ley General del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales; así como también el arto. 24 del Decreto 9-96 (Reglamento de la Ley No. 217), establece que los proyectos, obras, industrias o cualquier actividad que por sus características, pueda producir deterioro al ambiente o a los recursos naturales, debe someterse a un Estudio o Evaluación de Impacto Ambiental.

El Decreto 76-2006 clasifica los proyectos en tres categorías. Dichas categorías se basan en la medida del impacto del proyecto en el ambiente. Los proyectos de la categoría III, son aquellos que pueden causar impactos ambientales moderados, aunque pueden generar efectos acumulativos, por esta razón, quedan sujetos a una Valoración Ambiental, como condición para otorgar la autorización ambiental correspondiente.

El proceso de Valoración Ambiental y emisión de la autorización ambiental de los proyectos de esta Categoría quedará a cargo de las Delegaciones Territoriales del MARENA, en coordinación con las unidades ambientales sectoriales y municipales pertinentes, según sea el tipo de proyecto, obra, industria o actividad. En el caso de las Regiones Autónomas, el sistema será administrado por los Consejos Regionales a través de la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (SERENA), en coordinación con el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales.

Dentro de la categoría III se encuentran: la explotación de bancos de material de préstamos, proyectos de exploración y explotación minera no metálica, modificaciones al trazado de carreteras, autopistas, vías rápidas preexistentes, medido en una longitud continua de menos de 10 kilómetros. Asimismo, incluye la construcción de muelles, aeródromos, antenas de comunicación, entre otros.

Con base en lo mencionado anteriormente, el “Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua”, está clasificado como un proyecto de categoría III, por lo que queda sujeto a una valoración de impacto ambiental.

9.2. Descripción del proyecto

Este proyecto consiste en la construcción de una calle en el casco urbano del Municipio de El Tortuguero, así como también incluye su sistema de drenaje, señalización y todo lo que constituye una vía de comunicación terrestre. Como todo obra vial, este conlleva la ejecución de varias actividades que directa o indirectamente afectan el medio ambiente en dicho sitio; estas afectaciones van desde cambios en la composición del suelo por el mejoramiento del mismo, hasta la contaminación del aire con los gases producidos por la combustión de la maquinaria empleada.

Sin embargo, no todo es negativo, la realización de este proyecto beneficia a la población de este lugar; reduciendo los tiempos de movilización de un punto a otro, aminorando los costos del transporte y evita la formación de charcos o en su defecto de polvaredas que afectan la salud de la personas. Así como también, reduce tanto el deterioro en los vehículos como las posibilidades que se produzcan accidentes.

9.3. Medio físico

- *Topografía*: el proyecto se desarrolla a lo largo de 1.73 km con cotas topográficas que varían entre 10 y 35 m.s.n.m.
- *Suelos*: de acuerdo a los resultados del estudio de suelo, el suelo predominante es arcilloso del tipo A-7-6.
- *Aguas superficiales*: no se localizan fuentes de aguas en el trazo de la calle ni en zonas cercanas.
- *Clima*: el clima predominante del municipio se define como Monzónico Tropical. La temperatura promedio oscila entre los 25° y 26° C.

9.4. Medio biótico

- *Flora*: en la zona urbana del municipio se pueden encontrar ciertas especies arbóreas, arbustivas y herbáceas ornamentales, pero ninguna de estas se ve afectada durante la construcción de la vía.
- *Fauna*: está constituida principalmente por aves.

9.5. Impactos Ambientales negativos del proyecto

Las obras de ingeniería provocan impactos tanto positivos como negativos, siendo los negativos motivo de análisis en esta sección, ya que éstos son los que causan daño al medio natural. En la siguiente tabla se muestran los posibles impactos negativos del proyecto en la etapa de construcción.

Tabla 9-1. *Impactos negativos del proyecto*

Actividades Impactantes	Factor ambiental	Efecto
Preliminares y movimiento de tierra	Clima	Reducción de cubierta vegetal
	Calidad del aire	Producción de polvo y reducción de la humedad
	Ruidos y vibraciones	Ruido producido por la maquinaria
	Geología y geomorfología	Variación de la topografía
	Suelo	Erosión
	Vegetación	Reducción de la vegetación
	Paisaje	Alteración del paisaje
	Relaciones ecológicas	Alteración del paisaje
	Transporte y vialidad	Desvío del tráfico a vías alternas
	Hábitat humano	Cambio en el ecosistema
	Paisaje urbano	Alteración del paisaje
	Salud	Aparición de enfermedades respiratorias causadas por el polvo
	Factores socioculturales	Cambios en el manera de vivir
	Población	Riesgo que se produzcan accidentes
Carpeta de rodamiento	Calidad del aire	Producción de polvo y reducción de la humedad
	Ruidos y vibraciones	Ruido producido por la maquinaria
	Geología y geomorfología	Variación de la topografía
	Suelo	Impermeabilización
	Paisaje	Alteración del paisaje
	Transporte y vialidad	Desvío del tráfico a vías alternas
	Población	Riesgo que se produzcan accidentes

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla 9-1-1. Impactos negativos del proyecto

Actividades Impactantes	Factor ambiental	Efecto
Cunetas, andenes y bordillos	Calidad del aire	Producción de polvo y reducción de la humedad
	Ruidos y vibraciones	Ruido producido por la maquinaria
	Geología y geomorfología	Variación de la topografía
	Suelo	Erosión e Impermeabilización
	Vegetación	Alteración del paisaje
	Paisaje	Alteración del paisaje
	Relaciones ecológicas	Alteración del paisaje
	Transporte y vialidad	Desvío del tráfico a vías alternas
	Paisaje urbano	Alteración del paisaje
	Salud	Aparición de enfermedades respiratorias causadas por el polvo
	Población	Riesgo que se produzcan accidentes
Obras de drenaje	Calidad del aire	Producción de polvo y reducción de la humedad
	Ruidos y vibraciones	Ruido producido por la maquinaria
	Geología y geomorfología	Variación de la topografía
	Suelo	Erosión e Impermeabilización
	Vegetación	Alteración del paisaje
	Transporte y vialidad	Desvío del tráfico a vías alternas
	Población	Riesgo que se produzcan accidentes
Señalización	Ruidos y vibraciones	Ruidos propios de la actividad
	Suelo	Erosión
	Paisaje urbano	Alteración del paisaje
Limpieza y entrega final	Ruidos y vibraciones	Ruido producido por la maquinaria
	Suelo	Erosión
	Población	Riesgo que se produzcan accidentes

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

9.5.1. Evaluación cualitativa de los impactos negativos.

Tabla 9-2. Matriz Causa – Efecto

MATRIZ CAUSA-EFECTO DE IMPACTOS NEGATIVOS								
FACTORES DEL MEDIO AFECTADOS POR EL PROYECTO		ETAPA: CONSTRUCCIÓN ACCIONES IMPACTANTES DEL PROYECTO						
		Preliminares	Movimiento de Tierra	Carpeta de rodamiento	Cunetas, andenes y bordillos	Obras de drenaje (canal)	Señalización	Limpieza y entrega final
FACTOR	COD	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
CLIMA	M1	X	X					
CALIDAD DEL AIRE	M2	X	X	X	X	X		
RUIDOS Y VIBRACIONES	M3	X	X	X	X	X	X	X
GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA	M4	X	X	X	X	X		
HIDROLOGIA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA	M5							
SUELO	M6	X	X	X	X	X	X	X
VEGETACION	M7	X	X		X	X		
FAUNA	M8							
PAISAJE	M9	X	X	X	X			
RELACIONES ECOLÓGICAS	M10	X	X		X			
SISTEMA DE ASENTAMIENTO	M11							
TRANSPORTE Y VIALIDAD	M12	X	X	X	X	X		
ACUEDUCTO	M13							
ALCANTARILLADO	M14							
TRATAMIENTO DES. SOLIDOS	M15							
HABITAT HUMANO	M16	X	X					
ESPACIOS PUBLICOS	M17							
PAISAJE URBANO	M18	X	X		X		X	
EQUIPAMIENTO DE SERVICIO	M19							
REGULACIONES URB. Y ARQ.	M20							
SALUD	M21	X	X		X			
CALIDAD DE VIDA	M22							
FACTORES SOCIOCULTURALES	M23	X	X					
VULNERABILIDAD	M24	X	X	X	X	X		X
ECONOMIA	M25							
RELACIONES DEPENDENCIA	M26							
FUENTES ENERGETICAS	M27							

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla 9-3. Matriz para la valoración de impactos negativos

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO "DISEÑO DE UN TRAMO VIAL DE 1.70 KM EN EL MUNICIPIO DE EL TORTUGUERO"																																							
MATRIZ PARA LA VALORACION DE IMPACTOS NEGATIVOS																											M002												
VALORES DE LOS ATRIBUTOS DE IMPACTOS																																							
IMPACTOS	(-)	(+)	1	2	4	8	12	1	2	4	8	12	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	8	12	Importancia [I= - (3IN + 2EX + MO + PE + RV + AC + PB + EF + PR + PS)]	Valor Máximo de Importancia		
	impacto perjudicial	impacto beneficioso	Baja	Media	Alta	Muy alta	Total	Puntual	Parcial	Extenso	Total	Crítica	Largo plazo	Medio plazo	Inmediato	Fugaz	Temporal	Permanente	Recuperable a c. Plazo	Recuperable a m. plazo	Irrecuperable	Simple (sin sinergia)	Sinérgico	Acumulativo	improbable	Dudoso	Cierto	Indirecto	Directo	Irregular y discontinuo	Periódico	Continuo	Mínima	Media	Alta			Máxima	Total
	Naturaleza	Intensidad (grado de destrucción)						Extensión (Área de influencia)					Momento (plazo de manifestación)		Persistencia (permanencia del efecto)		Reversibilidad (recuperabilidad)			Acumulación (incremento progresivo)		Probabilidad (certidumbre de aparición)		Efecto (relación causa efecto)		Periodicidad (regularidad de manifestación)			Percepción social (grado de percepción del impacto por la población)										
	Signo	I						Ex					Mo		Pr		Rv			Ac		Pb		Ef		Pr			PS					S	S				
C1M1	(-)		1						1					4		2		1			1		4		4		1			2					-24	100			
C1M2	(-)		1						1					4		2		1			1		4		4		1			2					-24	100			
C1M3	(-)		8						4					4		2		1			1		4		4		1			2					-51	100			
C1M4	(-)		2						2					4		4		4			1		4		4		1			2					-34	100			
C1M6	(-)		2						2					4		4		2			1		4		4		1			2					-32	100			
C1M7	(-)		1						1					4		2		1			1		4		4		1			2					-24	100			
C1M9	(-)		4						2					4		2		1			1		4		4		1			4					-37	100			
C1M10	(-)		1						2					4		2		1			1		4		4		1			2					-26	100			
C1M12	(-)		4						8					4		2		1			1		4		4		1			1					-46	100			
C1M16	(-)		1						2					4		1		2			1		4		4		1			1					-25	100			
C1M18	(-)		1						2					4		1		1			1		4		4		1			4					-27	100			
C1M21	(-)		2						1					4		1		1			1		4		4		1			2					-26	100			
C1M23	(-)		1						1					4		1		1			1		4		4		1			1					-22	100			
C1M24	(-)		4						4					4		2		2			1		4		4		1			8					-46	100			
C2M1	(-)		1						4					4		2		1			1		4		4		1			2					-30	100			
C2M2	(-)		4						2					4		2		1			1		4		4		1			4					-37	100			
C2M3	(-)		4						2					4		2		1			2		4		4		1			8					-42	100			
C2M4	(-)		8						4					4		4		4			2		4		4		1			8					-63	100			
C2M6	(-)		12						8					4		4		4			2		4		4		1			8					-83	100			
C2M7	(-)		4						1					4		4		1			1		4		4		1			4					-37	100			
C2M9	(-)		2						2					4		4		1			1		4		4		1			4					-33	100			
C2M10	(-)		1						1					4		1		1			1		4		4		1			2					-23	100			
C2M12	(-)		4						4					4		2		1			1		4		4		1			12					-49	100			
C2M16	(-)		4						4					4		2		1			1		4		4		1			2					-39	100			
C2M18	(-)		1						2					4		2		1			1		4		4		1			2					-26	100			
C2M21	(-)		4						2					4		2		2			1		4		4		1			2					-36	100			
C2M23	(-)		1						1					1		1		1			1		4		4		1			2					-20	100			
C2M24	(-)		8						4					4		2		2			1		4		4		1			4					-54	100			
C3M2	(-)		1						2					4		1		1			2		4		4		1			4					-28	100			
C3M3	(-)		8						2					4		2		4			2		4		4		1			4					-53	100			
C3M4	(-)		8						4					4		4		4			2		4		4		1			4					-59	100			
C3M6	(-)		8						4					4		4		1			2		4		4		1			4					-56	100			
C3M9	(-)		2						2					4		1		1			1		4		4		1			4					-30	100			
C3M12	(-)		12						12					4		1		1			1		4		4		1			8					-84	100			
C3M24	(-)		8						4					4		1		1			1		4		4		1			4					-52	100			
C4M2	(-)		2						2					4		1		1			1		4		4		1			4					-30	100			
C4M3	(-)		2						2					4		2		1			2		4		4		1			8					-36	100			
C4M4	(-)		2						2					4		4		4			1		4		4		1			4					-36	100			
C4M6	(-)		2						2					4		4		4			1		4		4		1			4					-36	100			
C4M7	(-)		2						2					4		2		2			1		4		4		1			8					-36	100			
C4M9	(-)		4						2					4		1		2			1		4		4		1			8					-41	100			
C4M10	(-)		2						2					4		4		4			1		4		4		1			4					-36	100			
C4M12	(-)		1						2					4		1		1			1		4		4		1			1					-24	100			
C4M18	(-)		1						2					4		1		1			1		4		4		1			4					-27	100			
C4M21	(-)		1						2					4		1		1			1		4		4		1			2					-25	100			
C4M24	(-)		2						2					4		1		1			1		4		4		1			2					-28	100			
C5M2	(-)		1						2					4		1		1			1		4		4		1			1					-24	100			
C5M3	(-)		2						2					4		1		1			2		4		4		1			2					-29	100			
C5M4	(-)		2						2					4		4		4			1		4		4		1			1					-33	100			
C5M6	(-)		2						2					4		4		4			2		4		4		1			2					-35	100			
C5M7	(-)		2						2					4		2		2			1		4		4		1			2					-30	100			
C5M12	(-)		2						2					4		1		1			1		4		4		1			1					-27	100			
C5M24	(-)		1						2					4		1		1			1		4		4		1			1					-24	100			
C6M3	(-)		1						1					4		1		1			1		4		4		1			1					-22	100			
C6M6	(-)		1						1					4		4		4			1		4		4		1			1					-28	100			
C6M18	(-)		1						1					4		4		4			1		4		4		1			2					-29	100			
C7M3	(-)		1						2					4		1		1			1		4		4		1			2					-25	100			
C7M6	(-)		4						2					4		2		2			2		4		4		1			4					-39	100			
C7M24	(-)		8						2					4		4		4			1		4		4		1			4					-54	100			

Tabla 9-4. Matriz de impactos negativos del proyecto

MATRIZ DE IMPACTOS NEGATIVOS										M003	
FACTORES DEL MEDIO AFECTADOS POR EL PROYECTO		M003									
		ETAPA: CONSTRUCCIÓN									
		ACCIONES IMPACTANTES DEL PROYECTO									
		Preliminares	Movimiento de Tierra	Carpeta de rodamiento	Cunetas, andenes y	Obras de drenaje	Señalización	Limpieza y entrega final	Valor de la Alteración	Máximo valor de la alteración	Grado de Alteración
FACTOR	COD	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7			
CLIMA	M1	-24	-30						-54	200	-27
CALIDAD DEL AIRE	M2	-24	-37	-28	-30	-24			-143	600	-24
RUIDOS Y VIBRACIONES	M3	-51	-42	-53	-36	-29	-22	-25	-258	800	-32
GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA	M4	-34	-63	-59	-36	-33			-225	500	-45
HIDROLOGIA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA	M5										
SUELO	M6	-32	-83	-56	-36	-35	-28	-39	-309	700	-44
VEGETACION	M7	-24	-37		-36	-30			-127	400	-32
FAUNA	M8										
PAISAJE	M9	-37	-33	-30	-41				-141	300	-47
RELACIONES ECOLOGICAS	M10	-26	-23		-36				-85	200	-43
SISTEMA DE ASENTAMIENTO	M11										
TRANSPORTE	M12	-46	-49	-84	-24	-27			-230	100	-230
ACUEDUCTO	M13										
ALCANTARILLADO	M14										
TRATAMIENTO DES. SOLIDOS	M15										
HABITAT	M16	-25	-39						-64	200	-32
ESPACIOS PUBLICOS	M17										
PAISAJE URBANO	M18	-27	-26		-27		-29		-109	200	-55
EQUIPAMIENTO DE SERVICIO	M19										
REGULACIONES URB. Y ARQ.	M20										
SALUD	M21	-26	-36		-25				-87	200	-44
CALIDAD DE VIDA	M22										
FACTORES SOCIOCULTURALES	M23	-22	-20						-42	200	-21
VULNERABILIDAD	M24	-46	-54	-52	-28	-24		-54	-258	1000	-26
ECONOMIA	M25										
RELACIONES DEPENDENCIA	M26										
FUENTES ENERGETICAS	M27										
Valor Medio de Importancia		-36									
Dispersión Típica		14									
Rango de Discriminación		-50						-22			
Valor de la Alteración		-444	-572	-362	-355	-202	-79	-118	-2132	5600	
Máximo Valor de Alteración		1500	1400	600	200	700	300	400			
Grado de Alteración		-30	-41	-60	-178	-29	-26	-30			

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

En el caso de los negativos

Valor por encima del rango		IMPACTOS CRITICOS
Valor dentro del rango		IMPACTOS MODERADOS
		IMPACTOS
Valor por debajo del rango		IRRELEVANTES

9.6. Medidas de mitigación

Las carreteras más que cualquier otro tipo de obra causa grandes cambios en el ambiente, esto es debido a que se extiende por largos tramos, donde provoca alteraciones a las características naturales, dentro de las principales se pueden mencionar: los cambios en el drenaje natural, aumento de la cantidad de las aguas de escorrentía, lo que a su vez trae como consecuencias la erosión del suelo en las zonas de descarga y la sedimentación en zonas más bajas de los cauces naturales. Del mismo modo, la construcción de una obra vial tiene cierta influencia en la tendencia en que crecen los asentamientos poblacionales.

Está estipulado en las leyes de nuestro país que las obras de ingeniería contemplen un estudio para conocer los impactos de ésta y de esta forma evitar los daños o realizar acciones para que por lo menos estos sean lo menos severos posibles. Es importante resaltar que aunque esto es una ley, es un deber del ser humano preservar la naturaleza.

Existe diversidad de maneras para realizar la mitigación de los impactos negativos, pero de acuerdo al NIC-2000, la mitigación se hace de tres maneras:

- a. Ejecutar las obras viales atendiendo las normas a seguir en las operaciones constructivas,
- b. Construcción de obras de protección previstas en los planos, y
- c. Construcción de obras provisionales y toma de medidas eventuales que permiten una ejecución de las viales evitando que fenómenos naturales como lluvia, el viento, y sus consecuencias al medio ambiente y los recursos naturales.

Los resultados expresados en la matriz de impactos negativos (Tabla 9-4) muestran que los factores más afectados son: el suelo, el transporte y vialidad, la calidad del aire y la vegetación. En la tabla 9-5 se muestran las medidas de mitigación para mermar los impactos negativos causados a los factores ambientales ya mencionados.

Tabla 9-5. Medidas de mitigación

Factor ambiental	Impacto	Medida de mitigación
Transporte y vialidad	<ul style="list-style-type: none"> - Desvío del tráfico a vías alternas. - Ralentización de la circulación vehicular. 	<ul style="list-style-type: none"> - El contratista deberá seleccionar los desvíos más eficientes, y realizar la señalización adecuada.
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> - Erosión del suelo producto del aumento de la escorrentía superficial. 	<ul style="list-style-type: none"> - Colocación de bolones en las salidas de descarga de las cunetas. - Asegurar el revestimiento de las obras de drenaje tan pronto como se hayan finalizado los trabajos de terracería.
Calidad del aire	<ul style="list-style-type: none"> -Partículas del suelo en suspensión (polvo). - Emisión de gases producto de la combustión de la maquinaria. 	<ul style="list-style-type: none"> - El contratista deberá garantizar el riego de agua para mantener húmedas las zonas donde se estén realizando trabajos de movimiento de tierra. - Procurar el buen estado de los motores de la maquinaria empleada.
Vegetación	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la cubierta vegetal. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reforestar y velar por la zona que sufrió mayor daño. - Colocar grama en las zonas expuestas en la medida de lo necesario.
Población	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgos de accidentes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Concientizar a la ciudadanía sobre los peligros existentes durante la ejecución del proyecto.

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

A continuación se realiza la evaluación de los impactos negativos del proyecto considerando la implementación de las medidas de mitigación. Con esto se espera que los impactos negativos críticos que se muestran en la Tabla 9-5. (Tabla anterior) disminuyan y queden en el rango de impactos moderados o irrelevantes.

Tabla 9-6. Matriz para la valoración de impactos negativos

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO "DISEÑO DE UN TRAMO VIAL DE 1.70 KM EN EL MUNICIPIO DE EL TORTUGUERO"																																							
MATRIZ PARA LA VALORACION DE IMPACTOS NEGATIVOS																																		M002					
VALORES DE LOS ATRIBUTOS DE IMPACTOS																																							
IMPACTOS	(-)	(+)	1	2	4	8	12	1	2	4	8	12	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	8	12	Importancia [I]= - (3IN + 2EX + MO + PE + RV + AC + PB + EF + PR + PS)]	Valor Máximo de Importancia		
	Impacto perjudicial	Impacto beneficioso	Baja	Media	Alta	Muy alta	Total	Puntual	Parcial	Extenso	Total	Crítica	Largo plazo	Medio plazo	Inmediato	Fugaz	Temporal	Permanente	Recuperable a c. Plazo	Recuperable a m. plazo	Irrecuperable	Simple (sin sinergia)	Sinérgico	Acumulativo	Improbable	Dudoso	Cierto	Indirecto	Directo	Irregular y discontinuo	Periódico	Continuo	Mínima	Media	Alta			Máxima	Total
	Naturaleza		Intensidad (grado de destrucción)					Extensión (Área de influencia)					Momento (plazo de manifestación)			Persistencia (permanencia del efecto)			Reversibilidad (recuperabilidad)			Acumulación (incremento progresivo)			Probabilidad (certidumbre de aparición)			Efecto (relación causa efecto)		Periodicidad (regularidad de manifestación)			Percepción social (grado de percepción del impacto por la población)						
	Signo		I					Ex					Mo			Pr			Rv			Ac			Pb			Ef		Pr			PS					S	S
C1M1	(-)		1					1					4				2				1				1		4		4		1			2			-24	100	
C1M2	(-)		1					1					4				2				1				1		4		4		1			2			-24	100	
C1M3	(-)		8					4					4				2				1				1		4		4		1			2			-51	100	
C1M4	(-)		2					2					4				4				4				1		4		4		1			2			-34	100	
C1M6	(-)		2					2					4				4				2				1		4		4		1			2			-32	100	
C1M7	(-)		1					1					4				2				1				1		4		4		1			2			-24	100	
C1M9	(-)		4					2					4				2				1				1		4		4		1			4			-37	100	
C1M10	(-)		1					2					4				2				1				1		4		4		1			2			-26	100	
C1M12	(-)		4					8					4				2				1				1		4		4		1			1			-46	100	
C1M16	(-)		1					2					4				1				2				1		4		4		1			1			-25	100	
C1M18	(-)		1					2					4				1				1				1		4		4		1			4			-27	100	
C1M21	(-)		2					1					4				1				1				1		4		4		1			2			-26	100	
C1M23	(-)		1					1					4				1				1				1		4		4		1			1			-22	100	
C1M24	(-)		4					4					4				2				2				1		4		4		1			8			-46	100	
C2M1	(-)		1					4					4				2				1				1		4		4		1			2			-30	100	
C2M2	(-)		4					2					4				2				1				1		4		4		1			4			-37	100	
C2M3	(-)		4					2					4				2				1				2		4		4		1			8			-42	100	
C2M4	(-)		8					4					4				4				4				2		4		4		1			8			-63	100	
C2M6	(-)		8					4					4				4				4				2		4		4		1			8			-63	100	
C2M7	(-)		4					1					4				4				1				1		4		4		1			4			-37	100	
C2M9	(-)		2					2					4				4				1				1		4		4		1			4			-33	100	
C2M10	(-)		1					1					4				1				1				1		4		4		1			2			-23	100	
C2M12	(-)		4					4					4				2				1				1		4		4		1			12			-49	100	
C2M16	(-)		4					4					4				2				1				1		4		4		1			2			-39	100	
C2M18	(-)		1					2					4				2				1				1		4		4		1			2			-26	100	
C2M21	(-)		4					2					4				2				2				1		4		4		1			2			-36	100	
C2M23	(-)		1					1					1				1				1				1		4		4		1			2			-20	100	
C2M24	(-)		8					4					4				2				2				1		4		4		1			4			-54	100	
C3M2	(-)		1					2					4				1				1				2		4		4		1			4			-28	100	
C3M3	(-)		8					2					4				2				4				2		4		4		1			4			-53	100	
C3M4	(-)		8					4					4				4				4				2		4		4		1			4			-59	100	
C3M6	(-)		8					4					4				4				1				2		4		4		1			4			-56	100	
C3M9	(-)		2					2					4				1				1				1		4		4		1			4			-30	100	
C3M12	(-)		8					4					4				1				1				1		4		4		1			8			-56	100	
C3M24	(-)		8					4					4				1				1				1		4		4		1			4			-52	100	
C4M2	(-)		2					2					4				1				1				1		4		4		1			4			-30	100	
C4M3	(-)		2					2					4				2				1				2		4		4		1			8			-36	100	
C4M4	(-)		2					2					4				4				4				1		4		4		1			4			-36	100	
C4M6	(-)		2					2					4				4				4				1		4		4		1			4			-36	100	
C4M7	(-)		2					2					4				2				2				1		4		4		1			8			-36	100	
C4M9	(-)		4					2					4				1				2				1		4		4		1			8			-41	100	
C4M10	(-)		2					2					4				4				4				1		4		4		1			4			-36	100	
C4M12	(-)		1					2					4				1				1				1		4		4		1			1			-24	100	
C4M18	(-)		1					2					4																										

Tabla 9-7. Matriz de impactos negativos del proyecto

MATRIZ DE IMPACTOS NEGATIVOS										M003		
FACTORES DEL MEDIO AFECTADOS POR EL PROYECTO		M003										
		ETAPA: CONSTRUCCIÓN										
		ACCIONES IMPACTANTES DEL PROYECTO										
		Preliminares	Movimiento de Tierra	Carpeta de rodamiento	Cunetas, andenes y bordillos	Obras de drenaje (canal)	Señalización	Limpieza y entrega final	Valor de la Alteración	Máximo valor de la alteración	Grado de Alteración	
FACTOR	COD	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7				
CLIMA	M1	-24	-30						-54	200	-27	
CALIDAD DEL AIRE	M2	-24	-37	-28	-30	-24			-143	600	-24	
RUIDOS Y VIBRACIONES	M3	-51	-42	-53	-36	-29	-22	-25	-258	800	-32	
GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA	M4	-34	-63	-59	-36	-33			-225	500	-45	
HIDROLOGIA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA	M5											
SUELO	M6	-32	-63	-56	-36	-35	-28	-39	-289	700	-41	
VEGETACION	M7	-24	-37		-36	-30			-127	400	-32	
FAUNA	M8											
PAISAJE	M9	-37	-33	-30	-41				-141	300	-47	
RELACIONES ECOLOGICAS	M10	-26	-23		-36				-85	200	-43	
SISTEMA DE ASENTAMIENTO	M11											
TRANSPORTE	M12	-46	-49	-56	-24	-27			-202	100	-202	
ACUEDUCTO	M13											
ALCANTARILLADO	M14											
TRATAMIENTO DES. SOLIDOS	M15											
HABITAT	M16	-25	-39						-64	200	-32	
ESPACIOS PUBLICOS	M17											
PAISAJE URBANO	M18	-27	-26		-27		-29		-109	200	-55	
EQUIPAMIENTO DE SERVICIO	M19											
REGULACIONES URB. Y ARQ.	M20											
SALUD	M21	-26	-36		-25				-87	200	-44	
CALIDAD DE VIDA	M22											
FACTORES SOCIOCULTURALES	M23	-22	-20						-42	200	-21	
VULNERABILIDAD	M24	-46	-54	-52	-28	-24		-28	-232	1000	-23	
ECONOMIA	M25											
RELACIONES DEPENDENCIA	M26											
FUENTES ENERGETICAS	M27											
Valor Medio de Importancia		-35										
Dispersión Típica		11										
Rango de Discriminación		-46						-24				
Valor de la Alteración		-444	-552	-334	-355	-202	-79	-92	-2058			
Máximo Valor de Alteración		1500	1400	600	200	700	300	400				5600
Grado de Alteración		-30	-39	-56	-178	-29	-26	-23				

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

En el caso de los negativos

Valor por encima del rango

Valor dentro del rango

Valor por debajo del rango

IMPACTOS CRITICOS

IMPACTOS MODERADOS

IMPACTOS IRRELEVANTES

Tabla 9-8. Impactos negativos sin y con medidas de mitigación

Imp. Negativos sin medidas de mitigación	
Irrelevantes	10
Moderados	47
Críticos	2
Imp. Negativos con medidas de mitigación	
Irrelevantes	10
Moderados	49
Críticos	0

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

De acuerdo a los resultados expuestos en la Tabla 9-7, de impactos negativos, el suelo y el transporte son los factores en los cuales habrá impactos críticos durante la etapa de construcción de la obra. El primero es probablemente el elemento ambiental más perjudicado en la mayoría de las construcciones civiles. El segundo, se ve afectado por la naturaleza de este proyecto.

A través de las medidas de mitigación se logra reducir los impactos, principalmente aquellos que son críticos; los cuales corresponden, como se mencionó anteriormente, al suelo con -83% durante la etapa de movimiento de tierra y al transporte con -84% durante la construcción de la carpeta de rodamiento. Con dichas medidas se espera disminuir significativamente el porcentaje de influencia negativa en estos factores, logrando impactos de -63% y -56% (Ver Tabla 9-7. Impactos negativos con medidas de mitigación).

En la tabla 9-8. Se muestran la cantidad de impactos en los diferentes rangos, obteniendo como resultado 10 impactos irrelevantes en ambas situaciones, es decir, sin y con medidas de mitigación. Algo importante es que con las medidas de mitigación los dos impactos críticos pasan a ser moderados, resultando finalmente 49 impactos moderados, con lo que se puede decir que el proyecto, cambia el ambiente pero no produce grandes alteraciones que degraden el medio natural. Este resultado era de esperarse ya que se trata de un mejoramiento; porque el trazado ya está realizado, y este el que más afecta el medio biótico.

Capítulo 10 : Documentación Técnica de la Obra

10.1. Planos

A continuación se presenta la representación gráfica de los resultados del diseño geométrico. El juego de planos siguiente contiene: el plano de conjunto, el perfil longitudinal y las secciones transversales tanto del tramo propuesto con concreto hidráulico como del tramo adoquinado.

10.2. Alcances de obra

En las tablas 10-3 y 10.4 se muestra las cantidades de obra de cada etapa del proyecto y para cada proyecto en particular. Es importante mencionar que, el movimiento de tierra es quizás una de las actividades con mayor peso dentro de una obra, éste es un proceso que exige esfuerzo y tiempo; además, debe considerarse que durante este proceso pueden salir perjudicadas propiedades colindantes y causar un impacto ambiental negativo. A continuación se definen algunos aspectos básicos del movimiento de tierra.

Volumen en banco (Vb): Es el volumen medido en el banco de préstamo; esta medido en unidades de m^3 , yd^3 , pie^3 , etc.

Volumen suelto (Vs): Es el volumen del material que se extrajo del banco de préstamo. Es mayor que el volumen de banco debido a que el suelo se ha abundado. Es el valor que se toma en cuenta para el costo del acarreo.

Volumen compacto (Vc): Es el volumen de tierra que se ha colocado en un terraplén y ha sido compactado por medios mecánicos. Este volumen es menor que el volumen en banco.

Abundamiento: Es el aumento de volumen de determinado tipo de suelo, provocado por el aflojamiento de sus partículas; se expresa como un porcentaje de volumen de la muestra inalterada. En este proyecto se consideró un porcentaje de abundamiento para el suelo del sitio de 13% y para el banco de material selecto (banco de préstamo), 14%.

Enjutamiento: reducción del volumen del suelo a partir del volumen de banco. Para este proyecto se usará un porcentaje de Enjutamiento para el suelo del sitio de 0.91 y para el banco de préstamo de 0.85.

Excavación y Terraplén: el proceso de excavación y el de terraplén afectan directamente a la capa de tierra vegetal y a los patrones de drenajes existentes en el sitio del proyecto. El NIC-2000 especifica la forma en que este trabajo debe ser realizado dentro del derecho de vía y en los bancos de préstamo.

La excavación es la remoción de tierra, roca, ladrillos, piedra, concreto, pequeñas estructuras y otros materiales indeseables que se encuentren dentro del ancho de terracería del proyecto.

Corte: Es la excavación que se realiza en el terreno para conformar la estructura de la vía y elementos auxiliares de conformidad con las líneas y niveles mostrados en los planos u ordenados por el ingeniero.

Relleno y Terraplén: Son los depósitos de material compactado que se conforman sobre el terreno hasta formar la estructura de la vía y elementos auxiliares.

Generalmente, los rellenos de una vía se construyen usando el material proveniente de las excavaciones. Se debe procurar que la cantidad de material excavado sea suficiente para construir los rellenos, es decir, que se debe balancear el movimiento de tierra.

Tabla 10-1. Datos generales del tramo 1

PÁRAMETRO A CONSIDERAR	CANT. DE OBRA	U/M	OBSERVACIÓN
Longitud total de vía del proyecto	947.0	ml	Considerando: Sección angosta, Sección de transición, Sección boulevard
longitud total de vía a construir con Concreto Hidráulico	947.0	ml	
Ancho estándar de la seccion transversal a conformar	6, 6.75, 7.5	m	
Ancho estándar de calzada	6, 6.75, 7.5	m	
Área para el Concreto Hidráulico	5712.0	m ²	
Longitud de cunetas	2268.0	ml	Los existentes no se reemplazarán, en boulevard son 4 bordillos
sub-base de material selecto	0.20	m	
Sub-rasante estabilizada con Suelo-Cemento	0.30	m	
Material P/Sub-base Compacto	1288.5	m ³	Material selecto; enjutamiento 0.85
Material P/Sub-base Abundado (Ab=1.14)	1728.1	m ³	
Material P/Sub-rasante Compacto	1932.8	m ³	Suelo del sitio del proyecto; enjutamiento 0.91
Material P/Sub-rasante Abundado (Ab=1.13)	2400.0	m ³	
Explotación Banco de Préstamo	1728.1	m ³	Volumen suelto
Conformación y Compactación	6442.5	m ²	
Acarreo de Material Sobrante (Ab=1.13)	3141.37	m ³	No se considera el mat. Para sub-rasante, porque se reutilizará

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla 10-2. Datos generales del tramo 2

Descripción	Cantidad	U/M	Observación
Longitud total del proyecto	782.495	ml	
Longitud total a adoquinar	782.495	ml	
Ancho de sección transversal	6	ml	
Ancho de calzada	5.4	ml	
Área a adoquinar	4225.47	m2	
Cunetas	1564.99	ml	
Sub-rasante (mejoramiento)	0.3	m	Mejoramiento con suelo-cemento, relación 1:4
Base de material selecto	0.1	m	
Sub-base de material selecto	0.1	m	
Material para relleno (compactado)	938.99	m3	
Material para relleno (abundado)	1070.45	m3	
Material de banco de préstamo	1259.35	m3	
Conformación y compactación	4694.97	m2	
Tierra a botar	3230.49	m3	

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla 10-3. Alcances de obra-Tramo 1, Concreto Hidráulico

Etap	Sub- Etap	Descripción	U/M	Cantidad
250	00	PRELIMINARES		
	01	Limpieza Inicial	GLB	1.00
	02	Trazo y nivelación		
		Nivelación para Concreto Hidráulico	m ²	6442.50
		Nivelación para cunetas	ml	2268.00
	03	Hacer batea de 3.0 x 3.0 Vrs	c/u	2.00
	04	Hacer Zaranda de 1.80 x 1.20 m	c/u	2.00
	05	Replanteo Topográfico	ml	947.00
	06	Hacer Rótulo	c/u	2.00
	07	Instalar Rótulo	c/u	2.00
260	00	MOVIMIENTO DE TIERRA		
	01	Cortes y Rellenos		
		corte y acopio de material	m ³	5074.44
		Cargar material sobrante de corte	m ³	3141.37
		Acarreo material sobrante a 0.5 km	m ³	3141.37
	02	Conformar Sub-rasante Mejorada		
		Conformación con Suelo-Cemento (Proporción 1:4)	m ³	2400.00
		Compactación (2 capas de 0.15 m)	m ³	2400.00
	03	Explotación de Banco de Préstamo		
		Explotación de Banco con Tractor D6K	m ³	1730.00
		Cargar Material Selecto	m ³	1730.00
		Acarreo material Selecto a 5.5 km	m ³	1730.00
	04	Conformación de Carpeta		
		Tendido de Material	m ³	1730.00
		Compactación de la Carpeta (2 capas de 0.10 m)	m ³	1730.00
270	00	CARPETA DE RODAMIENTO		
	01	Carpeta de Concreto Hidráulico de 3500 PSI	m ²	5712.00
280	00	CUNETAS, ANDENES Y BORDILLO		
	01	Cuneta de Caite de Concreto de 3000 PSI	ml	2268.00
	02	Anden de Concreto de 3000 PSI	m ²	1260.00
290	00	OBRAS DE DRENAJE		
	01	Badén de concreto de 3500 PSI	m ²	45.00
291	00	SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL		
	01	Señales de Información	c/u	11.00
	02	Señales Viales Permanentes (Pintura Retroreflectiva)	ml	947.00
300	00	LIMPIEZA FINAL		
	01	Limpieza Final	GLB	1.00

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 10-4. Alcances de obra-Tramo 2, Concreto semi-rígido

Etap	Sub Etapa	Descripción	Cantidad	U/M
250		Preliminares	4694.97	M2
	1	Limpieza inicial	4694.97	M2
	2	Trazo y nivelación	4694.97	M2
	4	Rótulo	2	C/U
260		Movimiento de tierra	6190.02	M3
	2	Corte	4710.22	M3
	3	Relleno	1479.8	M3
	5	Conformación y compactación	4694.97	M2
	7	Botar tierra sobrante de excav	3230.49	M3
	8	Suelo cemento	4694.97	M2
	9	Revestimiento (base y sub-base)	1259.36	M3
270		Carpeta de rodamiento	4225.47	M2
	1	Adoquinado	4225.47	M2
280		Cunetas, andenes y bordillos	1564.99	ML
	1	Cunetas de caite	1564.99	ML
	5	Viga de remate transversal	108	ML
	6	Bordillo de concreto	1564.99	ML
	7	Andenes de concreto	491.57	M2
	15	Viga longitudinal	1564.99	ML
290		Obras de drenaje	1	GLB
	4	Canal revestido	200.2	ML
	31	Tragantes	6	C/U
291		Señalización horizontal y vertical	4	C/U
	4	Señales viales permanentes	4	C/U
300		Limpieza y entrega final	1	GLB
	1	Limpieza final	4694.97	M2

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

10.2.1. Equipo a utilizar

La maquinaria que se utilizará para la ejecución de este proyecto es el módulo de maquinarias que posee la alcaldía municipal de El Tortuguero, la cual brindó la siguiente lista e información del equipo disponible:

- Camión Volquete 7,400 SBA 6x4.
- Tractor D6K (Caterpillar).
- Cargador frontal BAJOB.
- Motoniveladora Qummin 8.3
- Vibro-compactadora de rodillo CS 533E (Caterpillar).
- Cisterna de 3000gln.
- Apisonador (placa vibratoria) de 6HP

Es importante mencionar que la alcaldía municipal de El Tortuguero, cuenta con todos los operadores de las maquinarias del módulo. Entre las herramientas que se utilizarán para la ejecución del proyecto se pueden mencionar algunas de éstas:

- Carretillas
- Palas
- Picos
- Mazos
- Cinceles
- Nylon 080
- Mangueras para nivelar

10.3. Costos de proyectos

El diseño de un proyecto constructivo no está terminado sin antes haber resuelto uno de los puntos más importantes para el dueño, el costo de la obra, ya que es por medio de este que se llegará a la decisión de ejecutar o no el proyecto en cuestión.

El interés financiero que supone un proyecto de cualquier magnitud es el que vendrá a colaborar para la realización del mismo. Es por eso que debe presentarse un informe detallado de los costos de cada uno de los recursos, estableciendo en conjuntó lo que se conoce como presupuesto.

Al momento de preparar los costos de un proyecto, se deben considerar, todas las variables que afectan su ejecución, entre estas se pueden mencionar las siguientes:

- Ubicación geográfica del proyecto.
- Condiciones climáticas.
- Tipo y condiciones de acceso hasta el sitio del proyecto.
- Distancia de los principales centros de distribución de materiales.
- Disponibilidad de mano de obra calificada en la zona del proyecto.

- Dimensión del proyecto.
- Capacidad técnica y financiera a utilizar.
- Riesgos asumidos con sus diferentes variables.
- Condiciones específicas y contractuales del proyecto

En la estimación de los costos, se debe hacer el correspondiente cálculo de los costos indirectos, costos por admón., márgenes de utilidad e imprevistos a fin de determinar el factor de sobre costo que se aplicará a los costos directos del proyecto, además, se debe tener en consideración que los impuestos también forman parte de la estructura de costos indirectos.

10.3.1. Cálculo del costo

Con el fin de mostrar la forma en que se determinó el costo de esta obra se presenta a manera de ejemplo únicamente el cálculo del costo unitario de dos actividades del proyecto de adoquinado (Tramo 2).

Etapas:	260 Movimiento de tierra
Sub-Etapas:	08 Suelo cemento
Cantidad:	4694.97 m ²

Costo de Materiales					
Descripción	U/M	Cantidad	Cantidad (bolsas de cemento)	Costo Unitario	Costo Total
Suelo cemento (Proporción de cemento/m ³ de suelo seco 1:4)	m ³	1480	6216	C\$ 320.00	C\$ 1,989,120.00

Costo de Mano de Obra				
Descripción	Cantidad	\$/hora	Horas	Costo Total
Ayudante	3	0.7	44.39	\$ 93.22
Prestaciones sociales			18.50%	\$ 17.25
				\$ 110.46

Resumen		
Costo de Materiales		C\$ 1,989,120.00
Costo de Mano de Obra	\$110.46	C\$ 2,706.38
Costo Unitario		C\$ 424.25
Costo Total		C\$ 1,991,826.38

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Etapas:	280 Cunetas, bordillos y andén
Sub-Etapas:	01 cunetas de caite
Cantidad:	1564.99 ml

Resistencia del concreto	3000 PSI
Relación	1:2:2
Cemento	8.5 bolsas
Arena	0.552 m3
Grava	0.552 m3

Vol. de concreto para cuneta	93.9 m3
Cemento	838 bolsas
Arena	67.38 m3
Grava	59.61 m3

Formaleta	U/M	Cantidad
Tablas de 1" x 12" x 5vrs	c/u	5
Separadores de madera (Elaborar a base de tablas de 1" x 12" x 5 vrs)	c/u	7
Reglas de 1" x 2" x 5vrs (para elaborar estacas)	c/u	1

Costo de Materiales				
Materiales	U/M	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Cemento	bolsas	838	C\$ 320.00	C\$ 268,160.00
Arena	m3	67.38	C\$ 1,400.00	C\$ 94,332.00
Grava	m3	59.61	C\$ 1,400.00	C\$ 83,454.00
Tablas de 1" x 12" x 5vrs	c/u	11	C\$ 195.00	C\$ 2,145.00
Reglas de 1" x 2" x 5vrs	c/u	1	C\$ 35.00	C\$ 35.00
				C\$ 448,126.00

Costo de Mano de Obra				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Hacer y colocar concreto	ml	1564.99	C\$ 14.83	C\$ 23,208.80
Desenfofrado	m2	469.5	C\$ 16.45	C\$ 7,723.28
				C\$ 30,932.08

Resumen	
Costo de materiales	C\$ 448,126.00
Costo de mano de obra	C\$ 30,932.08
Costo Unitario	C\$ 306.11
Costo Total	C\$ 479,058.08

Ahora que ya se ha mostrado el procedimiento en el cálculo del costo se procede a presentar el resumen del costo del proyecto en la tabla 10-5 y 10-6, correspondiente al tramo 1 de concreto hidráulico y al tramo 2 de adoquinado, respectivamente.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 10-5. Resumen del costo del Tramo 1, Concreto Hidráulico

Etapas	Sub-Etapas	Descripción	U/M	Cantidad	Costo de M.O	Costo de Materiales	Costo de Transporte	Costo de Equipo	Costo Unitario	Costo Total
250	00	PRELIMINARES								C\$ 37,366.90
	01	Limpieza Inicial	GLB	1.00	1500.00	0.00	0.00	0.00	1500.00	C\$ 1,500.00
	02	Trazo y nivelación								C\$ 16,815.20
		Nivelación para Concreto Hidráulico	m ²	6442.50	10308.00	3052.00	0.00	0.00	2.07	C\$ 13,360.00
		Nivelación para cunetas	ml	2268.00	1365.00	2090.20	0.00	0.00	1.52	C\$ 3,455.20
	03	Hacer batea de 3.0 x 3.0 Vrs	c/u	2.00	500.00	2159.20	0.00	0.00	1329.6	C\$ 2,659.20
	04	Hacer Zaranda de 1.80 x 1.20 m	c/u	2.00	300.00	657.50	0.00	0.00	478.75	C\$ 957.50
	05	Replanteo Topográfico	ml	947.00	4735.00	0.00	0.00	0.00	5.00	C\$ 4,735.00
	06	Hacer Rótulo	c/u	2.00	3000.00	7000.00	200.00	0.00	5100.00	C\$ 10,200.00
	07	Instalar Rótulo	c/u	2.00	500.00	0.00	0.00	0.00	250.00	C\$ 500.00
260	00	MOVIMIENTO DE TIERRA								C\$ 3639,550.47
	01	Cortes y Rellenos								C\$ 178,035.93
		corte y acopio de material	m ³	5074.44	1176.20	0.00	0.00	44051.15	8.91	C\$ 45,227.35
		Cargar material sobrante de corte	m ³	3141.37	728.18	0.00	0.00	16183.86	5.38	C\$ 16,912.04
		Acarreo material sobrante a 0.5 km	m ³	3141.37	0.00	0.00	0.00	115896.55	36.89	C\$ 115,896.55
	02	Conformar Sub-rasante Mejorada								C\$ 3312,773.07
		Conformación con Suelo-Cemento (Proporción 1:4)	m ³	2400.00	709.37	3225600.00	0.00	11931.75	1349.27	C\$ 3238,241.12
		Compactación (2 capas de 0.15 m)	m ³	2400.00	6808.65	0.00	0.00	67723.30	31.05	C\$ 74,531.95
	03	Explotación de Banco de Préstamo								C\$ 88,553.96
		Explotación de Banco con Tractor D6K	m ³	1730.00	401.00	0.00	0.00	15017.35	8.91	C\$ 15,418.35
		Cargar Material Selecto	m ³	1730.00	401.00	0.00	0.00	8911.30	5.38	C\$ 9,312.30
		Acarreo material Selecto a 5.5 km	m ³	1730.00	0.00	0.00	0.00	63823.32	36.89	C\$ 63,823.32
	04	Conformación de Carpeta								C\$ 60,187.51
		Tendido de Material	m ³	1730.00	454.29	0.00	0.00	7644.28	4.68	C\$ 8,098.57
		Compactación de la Carpeta (2 capas de 0.10 m)	m ³	1730.00	3271.80	0.00	0.00	48817.14	30.11	C\$ 52,088.94

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 10-5-1. Resumen del costo del proyecto; Tramo 1, Concreto Hidráulico

270	00	CARPETA DE RODAMIENTO								C\$ 5843,433.30
	01	Carpeta de Concreto Hidráulico de 3500 PSI	m ²	5712.00	638012.29	5205421.01	0.00	0.00	1023.01	C\$ 5843,433.30
280	00	CUNETAS, ANDENES Y BORDILLO								C\$ 1291,375.36
	01	Cuneta de Caite de Concreto de 3000 PSI	ml	2268.00	93095.85	654653.19	0.00	0.00	329.70	C\$ 747,749.04
	02	Anden de Concreto de 3000 PSI	m ²	1260.00	54129.60	489496.72	0.00	0.00	431.45	C\$ 543,626.32
290	00	OBRAS DE DRENAJE								C\$ 46,409.09
	01	Badén de concreto de 3500 PSI	m ²	45.00	5400.00	41009.09	0.00	0.00	1031.31	C\$ 46,409.09
291	00	SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL								C\$ 50,864.00
	01	Señales de Información	c/u	11.00	2750.00	16500.00	0.00	0.00	1750.00	C\$ 19,250.00
	02	Señales Viales Permanentes (Pintura Retroreflectiva)	ml	947.00	11364.00	20250.00	0.00	0.00	33.38	C\$ 31,614.00
300	00	LIMPIEZA FINAL								C\$ 1,600.00
	01	Limpieza Final	GLB	1.00	1600.00	0.00	0.00	0.00	1600.00	C\$ 1,600.00
										TOTAL COSTOS DIRECTOS C\$ 10910,599.12
										TOTAL COSTOS INDIRECTOS 11% C\$ 1200,165.90
										SUB TOTAL (C.D + C.I) C\$ 12110,765.02
										UTILIDADES (10%) C\$ 1211,076.50
										TOTAL SIN IMPUESTOS C\$ 13321,841.52
										IMPUESTO MUNICIPAL (1%) C\$ 133,218.42
										IMPUESTO SOBRE LA RENTA (2%) C\$ 266,436.83
										I.V.A (15%) C\$ 1998,276.23
										TOTAL GENERAL EN CORDOBAS C\$ 15719,773.00

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 10-6. Resumen del costo del Tramo 2, Concreto semi-rígido

Etapas	Sub Etapa	Descripción	Cantidad	U/M	Costo Mano de obra (C\$)	Costo de Materiales (C\$)	Costo de Equipo (C\$)	Costo Unitario (C\$)	Costo Total (C\$)
250		Preliminares	4694.97	M2	C\$ 29,898.82	C\$ 14,604.42		C\$ 9.48	C\$ 44,503.24
	1	Limpieza inicial	4694.97	M2	C\$ 16,432.40			C\$ 3.50	C\$ 16,432.40
	2	Trazo y nivelación	4694.97	M2	C\$ 11,066.42	C\$ 2,604.42		C\$ 2.91	C\$ 13,670.84
	4	Rótulo	2	C/U	C\$ 2,400.00	C\$ 12,000.00		C\$ 7,200.00	C\$ 14,400.00
260		Movimiento de tierra	6190.02	M3	C\$ 6,444.35		C\$ 2,280,960.76	C\$ 369.53	C\$ 2,287,405.11
	2	Corte	4710.22	M3	C\$ 938.50		C\$ 43,293.75	C\$ 9.39	C\$ 44,232.25
	3	Relleno	1479.8	M3	C\$ 250.99		C\$ 60,768.76	C\$ 41.24	C\$ 61,019.75
	5	Conformación y compactación	4694.97	M2	C\$ 1,236.24		C\$ 100,494.76	C\$ 21.67	C\$ 101,731.00
	7	Botar tierra sobrante de excav	3230.49	M3	C\$ 643.62		C\$ 64,629.76	C\$ 20.21	C\$ 65,273.38
	8	Suelo cemento	4694.97	M2	C\$ 2,706.38		C\$ 1,989,120.00	C\$ 424.25	C\$ 1,991,826.38
	9	Revestimiento (base y sub-base)	1259.36	M3	C\$ 668.62		C\$ 22,653.73	C\$ 18.52	C\$ 23,322.35
270		Carpeta de rodamiento	4225.47	M2	C\$ 912,917.04	C\$ 3,248,169.50		C\$ 984.76	C\$ 4,161,086.54
	1	Adoquinado	4225.47	M2	C\$ 912,917.04	C\$ 3,248,169.50		C\$ 984.76	C\$ 4,161,086.54
280		Cunetas, andenes y bordillos	1564.99	ML	C\$ 162,524.99	C\$ 945,365.00		C\$ 707.92	C\$ 1,107,889.99
	1	Cunetas de caite	1564.99	ML	C\$ 30,392.08	C\$ 448,126.00		C\$ 305.76	C\$ 478,518.08
	5	Viga de remate transversal	108	ML	C\$ 4,111.56	C\$ 15,706.00		C\$ 183.50	C\$ 19,817.56
	6	Bordillo de concreto	1564.99	ML	C\$ 59,579.17	C\$ 168,513.00		C\$ 145.75	C\$ 228,092.17
	7	Andenes de concreto	491.57	M2	C\$ 8,863.01	C\$ 164,172.00		C\$ 352.00	C\$ 173,035.01
	15	Viga longitudinal	1564.99	ML	C\$ 59,579.17	C\$ 148,848.00		C\$ 133.18	C\$ 208,427.17
290		Obras de drenaje	1	GLB	C\$ 41,221.20	C\$ 145,860.00		C\$ 187,081.20	C\$ 187,081.20
	4	Canal revestido	200.2	ML	C\$ 23,221.20	C\$ 139,860.00		C\$ 814.59	C\$ 163,081.20
	31	Tragantes	6	C/U	C\$ 18,000.00	C\$ 6,000.00		C\$ 4,000.00	C\$ 24,000.00
291		Señalización horizontal y vertical	4	C/U	C\$ 8,730.00	C\$ 13,250.00		C\$ 5,495.00	C\$ 21,980.00
	4	Señales viales permanentes	4	C/U	C\$ 8,730.00	C\$ 13,250.00		C\$ 5,495.00	C\$ 21,980.00

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla 10-6-1. Resumen del costo del proyecto; Tramo 2, Concreto semi-rígido

Etapas	Sub Etapa	Descripción	Cantidad	U/M	Costo Mano de obra (C\$)	Costo de Materiales (C\$)	Costo de Equipo (C\$)	Costo Unitario (C\$)	Costo Total (C\$)
300		Limpieza y entrega final	1	GLB	C\$ 16,432.40			C\$ 3.50	C\$ 16,432.40
	1	Limpieza final	4694.97	M2	C\$ 16,432.40			C\$ 3.50	C\$ 16,432.40
		Total de costos directos							C\$ 7826,378.47
		*Total de costos indirectos	11%						C\$ 860,901.63
		Total de costos directos + indirectos							C\$ 8687,280.10
		Utilidad	10%						C\$ 868,728.01
		SUBTOTAL							C\$ 9556,008.11
		Impuesto Municipal	1%						C\$ 95,560.08
		Impuesto sobre la Renta	2%						C\$ 191,120.16
		IVA	15%						C\$ 1433,401.22
		COSTO TOTAL							C\$ 11276,089.57

Fuente: *Elaboración propia*. (2016).

Determinación de los costos indirectos del proyecto

Los porcentajes aquí usados son los que actualmente la alcaldía usa para sus planificaciones de obras; es por tal razón que para este proyecto se harán las mismas consideraciones.

*El total de costos indirectos considera: 3% de costos indirectos de operación, 7% de costos indirectos de obra y 1% de imprevistos.

10.4. Cronograma del proyecto

Las técnicas de planificación se ocupan de estructurar las tareas a realizar dentro del proyecto, definiendo la duración y el orden de ejecución de las mismas; éstas tratan de ordenar las actividades de forma que se pueden identificar las relaciones temporales lógicas entre ellas, determinando el calendario o los instantes de tiempo en que debe realizarse cada una. La programación debe ser coherente con los objetivos perseguidos y respetar las restricciones existentes (recursos, costos, cargas de trabajo, etc.) y se representa gráficamente a través del conocido Diagrama de Gantt.

La programación consiste por lo tanto en fijar, de modo aproximado, los instantes de inicio y terminación de cada actividad. Algunas actividades pueden tener holgura y otras no (actividades críticas). En las figuras 10-1,2 se muestra el cronograma de las actividades del proyecto.

A continuación se muestra la duración de las actividades con las cuales fue realizado el cronograma del proyecto.

Tabla 10-7. Duración de actividades para el tramo 1, pavimento rígido

DESCRIPCIÓN	U/M	NRH	8 HRS	CANTIDAD	FUERZA		DÍAS
					Oficial	Ayudantes	
PRELIMINARES							
Limpieza inicial	m ²	210	1,680	6442.5	2	4	2
Trazo y nivelación	m ²	110	880	6442.5	2	4	4
Otras obras preliminares	c/u	-	-	3	2	4	4
Rótulo	c/u	-	-	2	1	2	1
MOVIMIENTO DE TIERRA							
Corte y acopio							9
Cargar material de préstamo							8
Acarreo de material conformación y compactación							61
Explotación de banco de préstamo							3
CARPETA DE RODAMIENTO							
Concreto hidráulico	m ²	3.85	30.8	5,712	10	10	19
CUNETAS, ANDENES Y BORDILLO							
Bordillo y caite	ml	6	48	2,268	3	6	16
Anden	m ²	7.5	60	1,260	3	6	7
OBRAS DE DRENAJE MENOR							
Badén de concreto	m ²	2.04	16.32	45	1	2	3
SEÑALIZACIÓN							
Todas	GLB	-	-	1	2	4	3
LIMPIEZA Y ENTREGA							
Limpieza final	m ²	8.42	67.36	6442.5	-	20	5
Entrega y detalles	GLB	1	8	1	-	-	1

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla 10-8. Duración de actividades para el tramo 2, pavimento semi-rígido

Etapa	Descripción	U/M	NRH	Cantidad	Fuerza	Días
250	Preliminares					
	Limpieza inicial	M2	210	4694.97	1 Oficial; 2 ayudantes	1
	Trazo y nivelación	M2	110	4694.97	1 Oficial; 2 ayudantes	2
	Rótulo	C/U				1
260	Movimiento de tierra					
	Corte	M3				6
	Relleno	M3				12
	Conformación y compactación	M2				7
	Botar tierra sobrante de excav	M3				21
	Suelo cemento	M2				6
	Revestimiento (base y sub-base)	M3				6
270	Carpeta de rodamiento					
	Adoquinado	M2	3.16	4225.47	6 Oficiales; 6 ayudantes	14
280	Cunetas, andenes y bordillos					
	Cunetas de caite	ML	6	1564.99	1 Oficial; 2 ayudantes	11
	Viga de remate transversal	ML	3.81	108	1 Oficial; 2 ayudantes	2
	Bordillo de concreto	ML	6	1564.99	1 Oficial; 2 ayudantes	11
	Andenes de concreto	M2	20	491.57	1 Oficial; 1 ayudantes	2
	Viga longitudinal	ML	20	1564.99	1 Oficial; 2 ayudantes	4
290	Obras de drenaje					
	Canal revestido	ML	2	200.8		5
	Tragantes	C/U				1
291	Señalización horizontal y vertical					
	Señales viales permanentes	GLB				2
300	Limpieza y entrega final					
	Limpieza final	GLB				1

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla 10-9. Rendimiento de equipo (tramo 1, pavimento rígido)

N°	Descripción	Cantidad	Actividad	Tiempo/ejecución
1	Tractor D6K	1	Corte y acopio	49.75 h
2	Cargador frontal	1	Carear M. sobrante	30.80 h
3	Camiones volquetes	2	Botar M. sobrante	130.89 h
4	Motoniveladora	1	Conformar sub-rasante mejorada	15.00 h
5	Vibrocompactadora	1	Compactación sub-rasante (2 capas)	96.00 h
6	Tractor D6K	1	Explotación de banco de M. selecto	16.96 h
7	Cargador frontal	1	Cargar material para subbase (5.5 km)	16.96 h
8	Camiones volquetes	2	Transportar material para sub-base	72.08 h
9	Motoniveladora	1	Tender material de subbase	9.61 h
10	Vibrocompactadora	1	Compactación de sub-base (2 capas)	69.20 h

Fuente: *Elaboración propia. (2016).*

Tabla 10-10. Rendimiento de equipo (tramo 2, pavimento semi-rígido)

Sub-tapa	Descripción	Cantidad	Actividad	Tiempo (hrs)	Duración (días)
02	Tractor D6	1	Corte	46.18	5.8
03	Tractor D6	1	Explotación de banco (mat. de relleno)	12.35	1.5
03	Camiones volquetes	2	Acarreo de mat. de relleno	52.47	6.6
05	Motoniveladora 120H	1	Conformación	8.22	1.0
05	Vibrocompactadora	1	Compactar sub-rasante mejorada	44.39	5.5
07	Backhoe	1	Botar mat. sobrante	31.67	4.0
07	Camiones volquetes	2	Botar mat. sobrante	134.58	16.8
09	Motoniveladora 120H	1	Conformar (base y sub-base)	7	0.9
09	Vibrocompactadora	1	Compactar (base y sub-base)	18.9	2.4

Fuente: *Elaboración propia. (2016).*

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

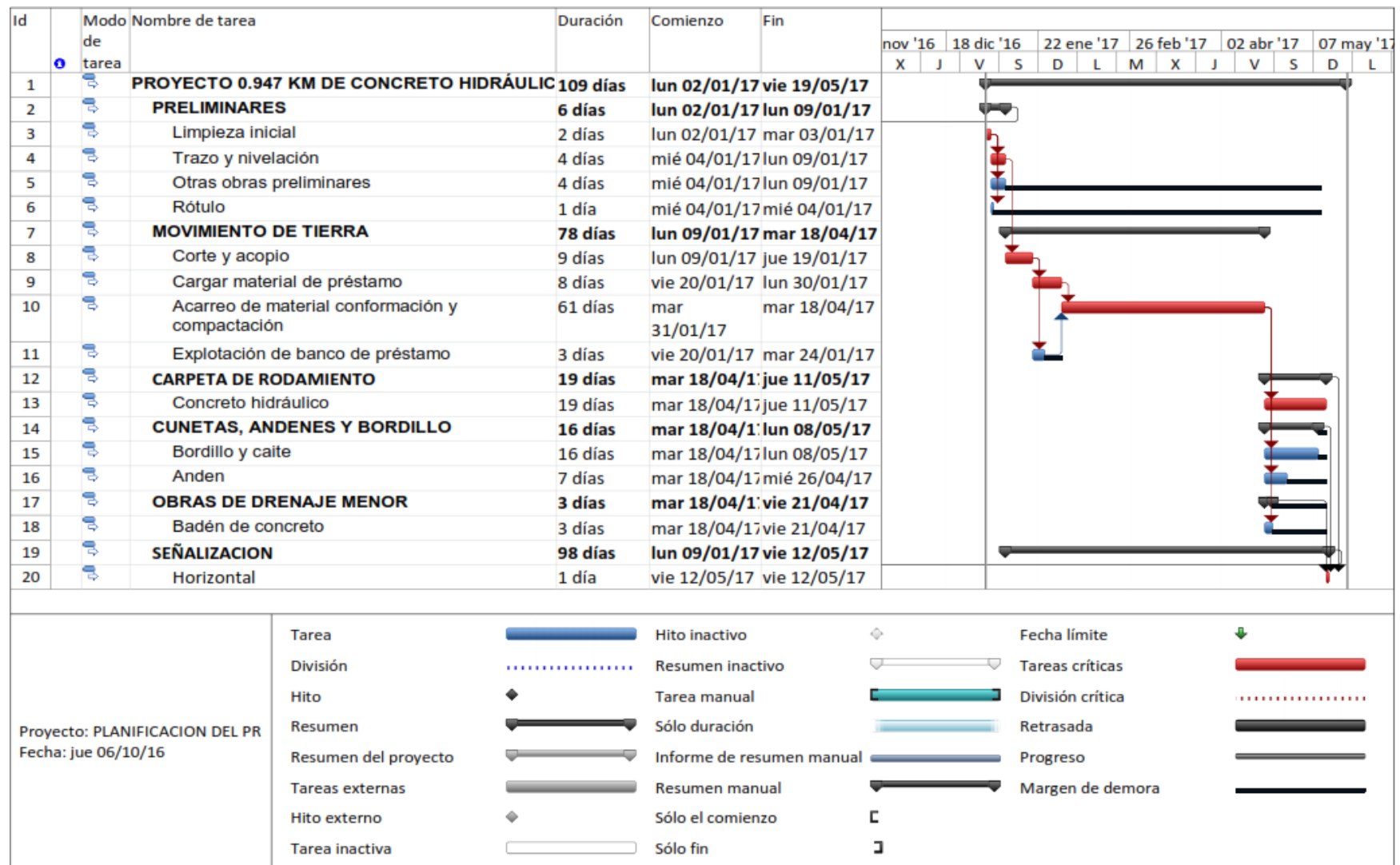


Figura 10-1. Diagrama de Gantt- Tramo 1, pavimento de concreto hidráulico

Fuente: Elaboración propia. (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

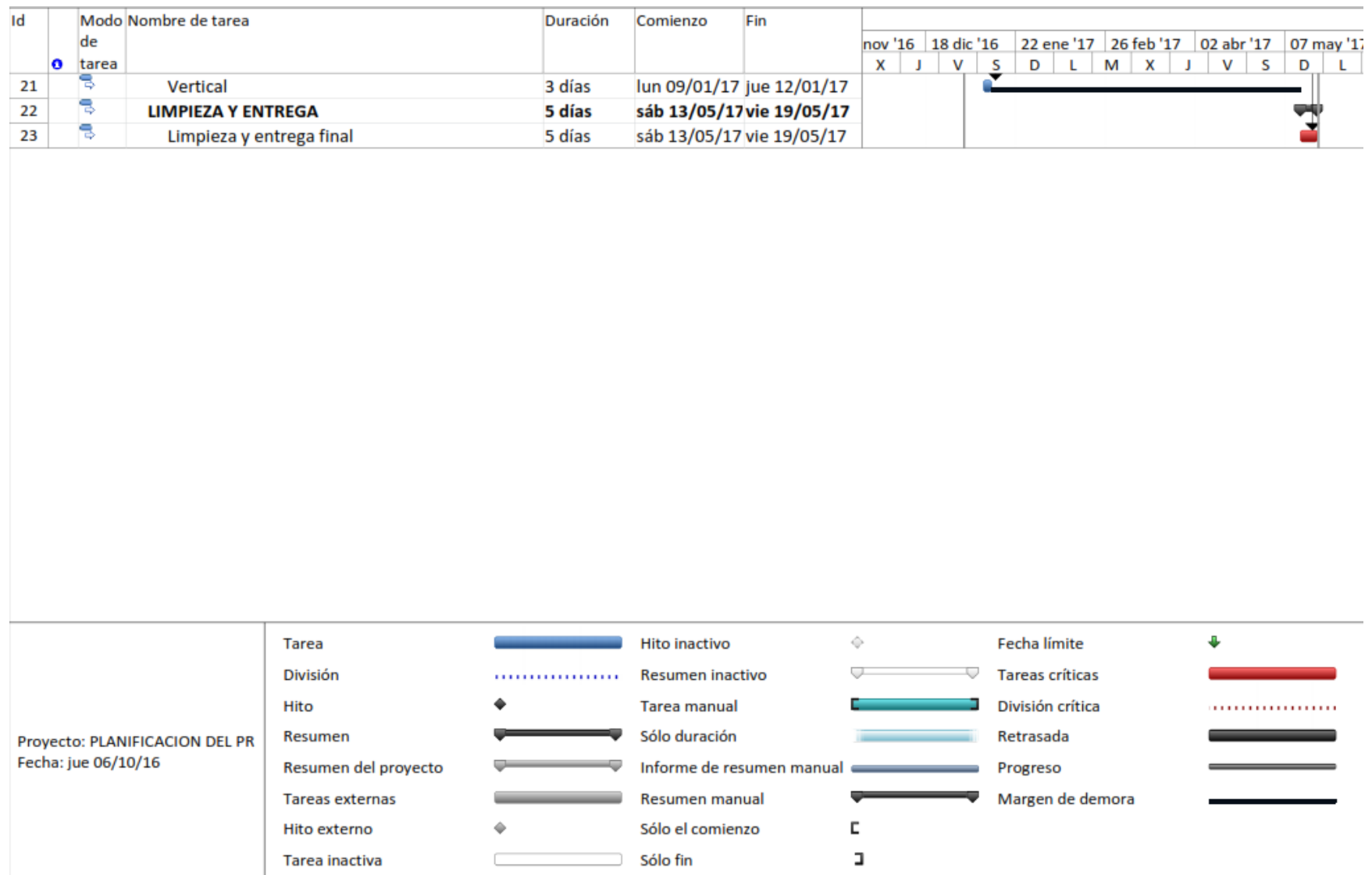


Figura 10-1-1. Diagrama de Gantt- Tramo 1, pavimento de concreto hidráulico
 Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

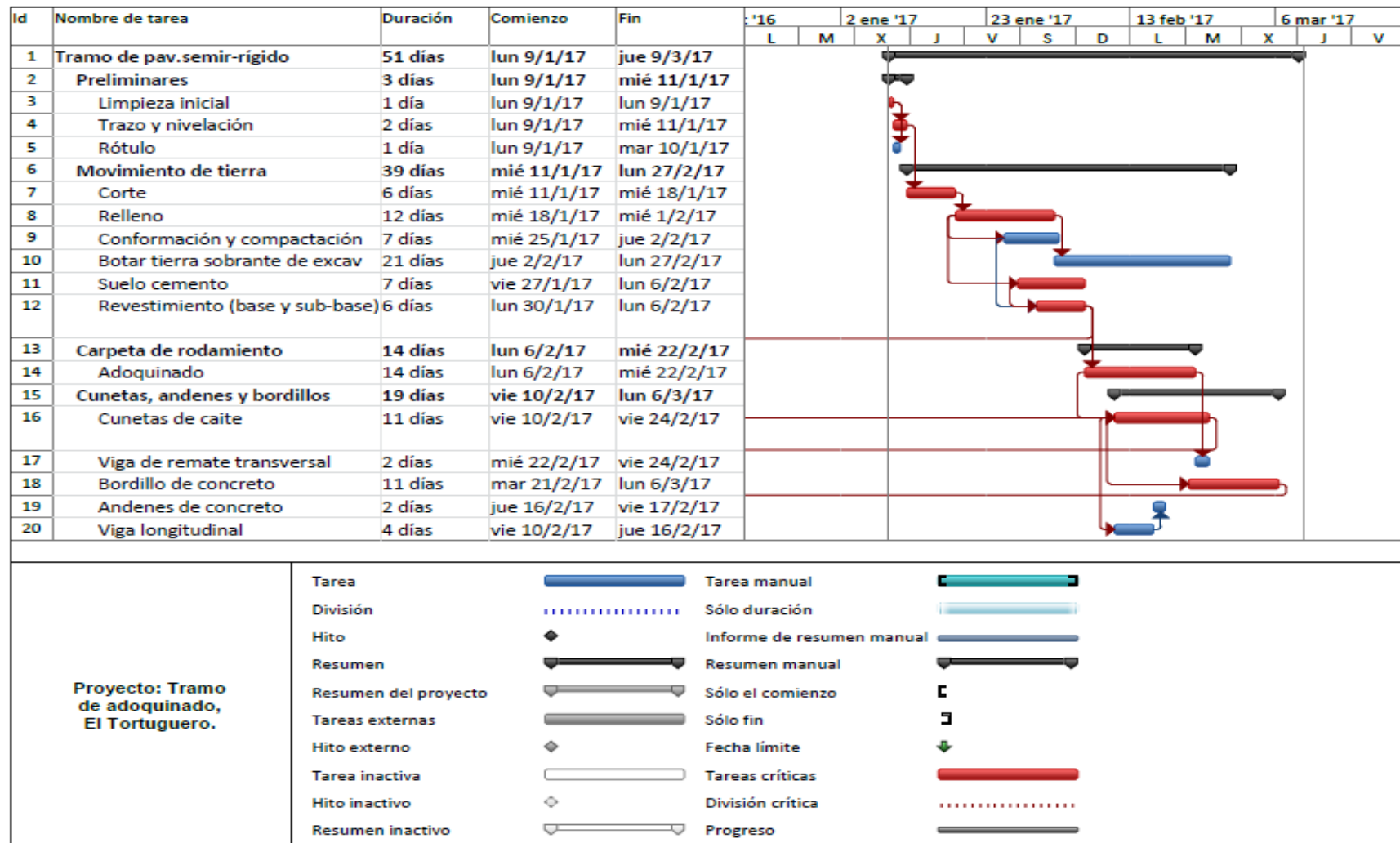


Figura 10-2. Diagrama de Gantt- Tramo 2, pavimento adoquinado

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

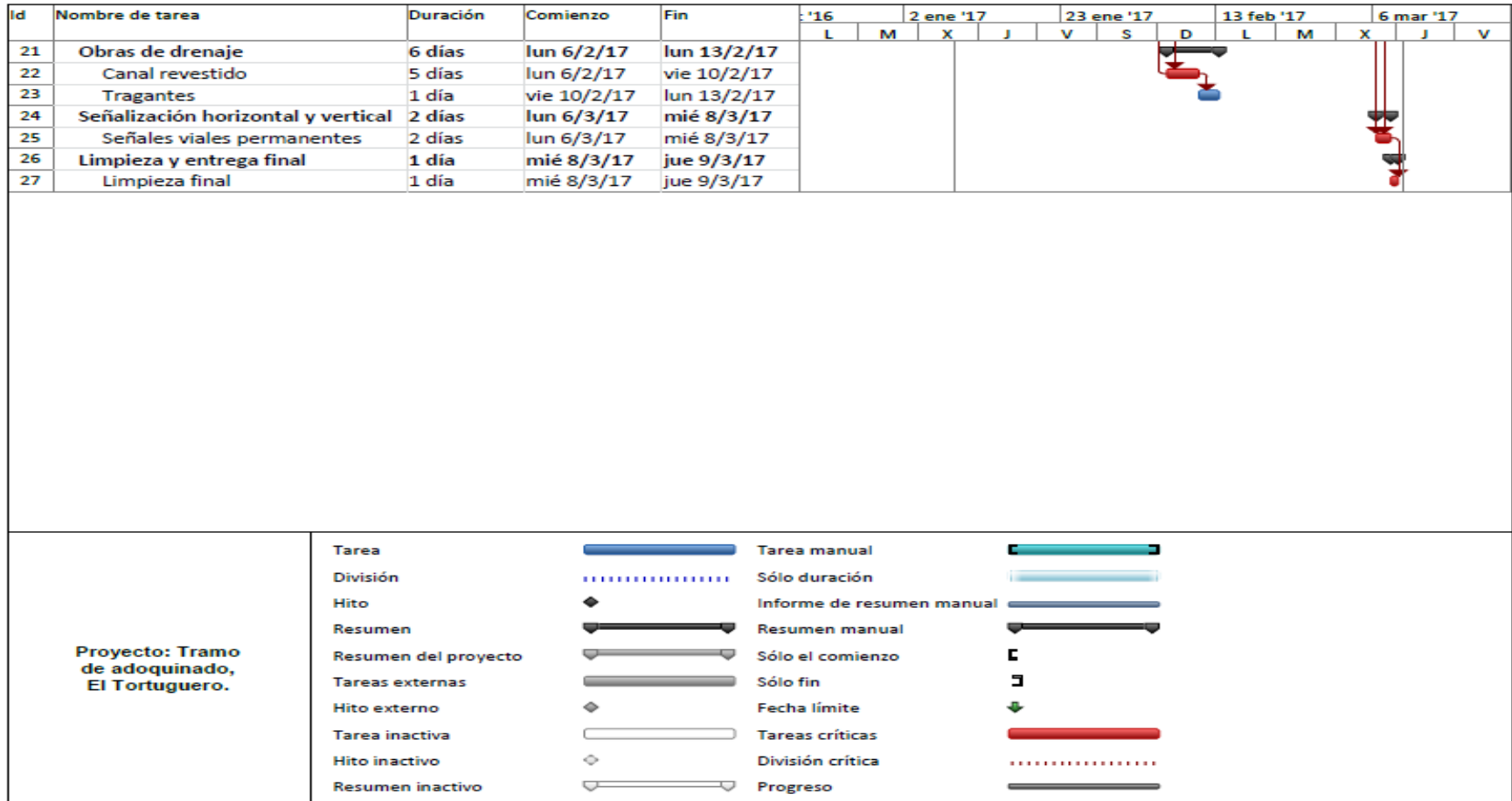


Figura 10-2-1. Diagrama de Gantt- Tramo de pavimento adoquinado

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

10.5. Especificaciones técnicas

10.5.1. Especificaciones para concreto hidráulico

Sub-base.

La sub-base tendrá un espesor de 0.20 m. (Según planos), compuesto de Material Selecto, ajustándose razonablemente a los alineamientos y niveles indicados en planos. La conformación de la sub-base se hará tamizando el material del banco de préstamo por la malla de 2 pulgadas, para evitar de esta forma el uso de material con un tamaño muy indeseable para una compactación efectiva de la sub-base; asimismo, ayudará a esta capa a poder drenar el agua de una forma adecuada y evitar el problema de licuefacción. Se usará el material obtenido del banco de préstamo ubicado a 5.5 kilómetros desde el casco urbano del municipio, en la comunidad de Belén, compuesto de material granular de buena calidad (CBR de 58.27, según resultados del laboratorio).

Se deberá compactar en dos capas de 10 cm hasta alcanzar el 98% de la densidad Proctor estándar y obtener un CBR mínimo de 57%. El rango de tolerancia en los niveles terminados será ± 1 cm de los niveles proyectados.

Los tramos de sub-base que sufrieran deterioro, ya sea por el tráfico de vehículos o producto de la acción de agentes externos deberán ser reparados y acabados nuevamente con el propósito de garantizar la calidad y niveles proyectados de la misma, previo a colocar el revestimiento. Los costos en que incurriera el Contratista por estas reparaciones serán asumidos por él.

Las cantidades de obras indicadas en los alcances de sub-base están referidos al volumen de material suelto. Los volúmenes de corte y construcción de sub-base que aparecen en los alcances son rellenos y compactos incluyendo acarreo de materiales.

El material a utilizar en la sub-base deberá estar libre de impurezas, de manera que tenga la granulometría apropiada, a como se mencionó anteriormente.

En la compactación el número de pasadas establecidas dependerá del peso de la compactadora utilizada; sin embargo, aquí se recomienda 5 pasadas por cada capa.

Cada capa de material será humedecida mediante riego hasta alcanzar la humedad óptima para su debida compactación, para lograr una humedad optima se necesitara 65 Gls. de agua por m³ de material. Se verificará la compactación para cada estructura de pavimento (sub-base), por medio de observación critica de El Contratista y El Supervisor. Emplear agua potable para el proceso de compactación.

El material sobrante del corte será traslado a una longitud que el supervisión la indique.

NOTA: Durante las actividades de corte, traslado y construcción de sub-base el contratista deberá regar el área por la mañana y por la tarde, este costo de riego tiene que ser incluido en las actividades antes mencionadas.

Sub-rasante.

Para la sub-rasante se hará un mejoramiento de 0.30 metros, a partir de la rasante definida en los planos, por lo que el corte tendrá que ser de 0.66 m a partir del nivel de rasante existente del terreno natural, de esta forma permitirá usar las cunetas y bordillos que se encuentran actualmente en algunos tramos de la vía existente; es decir, ajustándose razonablemente a los alineamientos y niveles indicados en planos. La conformación de la sub-rasante se hará mediante el uso de suelo-cemento para estabilizar el suelo existente en el sitio.

Se deberá compactar en dos capas de 15 cm hasta alcanzar como mínimo el 98% de la densidad Proctor estándar y asimismo, obtener un CBR mínimo de 21%. El rango de tolerancia en los niveles terminados será ± 1 cm de los niveles proyectados.

Las cantidades de obras indicadas en los alcances de sub-rasante están referidos al volumen de material suelto.

Los volúmenes de corte y construcción de sub-base que aparecen en los alcances son rellenos y compactos incluyendo acarreo de materiales.

En la compactación el número de pasadas establecidas dependerá del peso de la compactadora utilizada. Pero se recomienda 5 pasadas.

Cada capa de material será humedecida mediante riego hasta alcanzar la humedad óptima para su debida compactación, para lograr una humedad optima se necesitara 100 Gls. de agua por m³ de material seco. Se verificará la compactación para cada estructura de pavimento (sub-rasante), por medio de observación critica de El Contratista y El Supervisor. Emplear agua potable para el proceso de compactación.

Mezcla de suelo-cemento.

El Contratista debe mezclar los Materiales provenientes del material del sitio (sobre la vía), para conformar una mezcla que le permita alcanzar las características y especificaciones requeridas como tal, empleando cualquiera de los métodos que él estime conveniente. La proporción para la mezcla de suelo-cemento será la siguiente:

Tabla 10-11. Dosificación de suelo-cemento

Materiales	Por peso para 1 m³	Por volumen para 1 m³
Cemento Canal	167.4 Kg	4.0 bolsas
Material del sitio del proyecto	1,046 Kg	1 m ³ Seco Suelto
Agua Potable	385 Kg	385 litros
Total	1,625.6 Kg	

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Carpeta de concreto hidráulico.

La carpeta se construirá de concreto hidráulico de acuerdo a las especificaciones de la sección 501 del NIC-2000.

La transferencia de carga será mediante la trabazón de agregados. En ningún caso la modulación de las losas tendrá una relación de esbeltez mayor de 1.20. Se construirá una junta longitudinal en cada carril de circulación, cortando la losa por la mitad.

Las losas de concreto hidráulico se fabricarán con concreto MR-45 por lo que deberán estar a cargo de una empresa suplidora de este material y con experiencia en la construcción de este tipo de estructuras. El concreto será reforzado con fibra de polipropileno.

Dimensiones de losa de concreto hidráulico.

Espesor de losa = 16 cm.

Ancho de Losa = conforme diseño (1.5 m).

Relación largo-ancho de losa = 1.20 máximo

Sección de la losa = 1.5 x 1.8 m

Transferencia de Carga mediante trabazón de agregados (sin dovelas)

Pasa juntas.

No se usarán por lo que es concreto hidráulico simple.

NOTA: Solamente se usarán pasa juntas longitudinales, cuando la construcción de la calzada se vaya haciendo por carriles separados; por tal razón no se incluirán en el presupuesto, pero quedará a criterio de El Contratista su utilización, y a su vez tendrá que ponerse de acuerdo con El Supervisor. Las dimensiones son las siguientes:

Diámetro de Pasa juntas = 1 pulgadas; Varilla Lisa

Longitud de Pasa juntas = 45 cm

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Espaciamiento de Pasa juntas = 30 cm de centro a centro

Solo cuando sea interrumpido la colada del concreto.

Barras de sujeción.

Diámetro de Barras de sujeción = ½ pulgadas (1.27 cm)

Longitud de Barras de sujeción = 80 cm

Espaciamiento de Barras de Sujeción = 80 cm de centro a centro.

Construcción de pavimento de concreto hidráulico de 16 cm de espesor

El rodamiento se construirá de concreto hidráulico con espesor de 16 cm, Mr 45.

Se construirá una sub-rasante mejorada a base de suelo cemento (0.30 m), con porcentaje del 16%, usando el material de sitio; en la cual se construirá la capa de sub-base (0.20 m).

Gran parte de la carpeta de rodamiento se construirá entre cunetas existentes que serán conservadas, debiendo los bordes del rodamiento empatar con los niveles de dichas cunetas; sin embargo, en el tramo correspondiente a una carpeta de macadán, se construirán las mismas sobre el nivel indicado en los planos.

Tanto la capa de sub-rasante, como la de sub-base serán humedecidas mediante riego hasta alcanzar su humedad óptima, para su debida compactación. No se permitirá materia orgánica, ni impurezas en ninguna parte del relleno. Tanto la sub-rasante, como la sub-base, se compactarán como mínimo al 98 % de la densidad Proctor Estándar.

Espesores: deben respetarse los espesores establecidos para la sub-rasante y sub-base. El Contratista deberá garantizar los niveles exactos de estas capas para evitar disminuciones del espesor de la losa.

Nivelación final: La nivelación final se hará siempre por corrección y alisado de la superficie, jamás con la colocación de una capa delgada.

La superficie de la capa de soporte se debe limpiar de todos los materiales excedentes, y si es necesario, realizar una compactación complementaria después de retirar los excedentes.

Antes de vaciar el concreto, la parte superior de la sub-base se riega con agua, en cantidad suficiente para evitar que absorba agua del concreto, pero evitando la formación de charcos.

Concreto del proyecto.

El concreto a utilizar requerido para este diseño deberá tener una resistencia de 245 Kg/cm² (3500 psi), con proporción 1:2:2 y el pavimento tendrá 16 cm de espesor. Es tipo de concreto es el concreto hidráulico simple (sin refuerzo).

Cuando no sea especificado en los planos; el concreto a utilizar tendrá una resistencia a la compresión de 3500 PSI. Excepto para el concreto para la construcción de bordillos y andenes, que será de 3000 psi.

La proporción para un m³ de concreto para la carpeta de concreto hidráulico, es la siguiente:

Cemento	10 sacos (42.5 Kg).
Arena	0.67 m ³ malla #4
Grava	0.67 m ³ (Ø: ¾")

Relación agua cemento: 0.58 (A/c). Todo concreto deberá mezclarse hasta que logre una distribución uniforme de los materiales.

Al no usar mezcladora automática se tendrá estricto cuidado por parte del Contratista para la aplicación de algún otro método que obtenga resultados parecidos, como por el ejemplo el uso de bateas. El concreto será extendido con palas metálicas.

El tiempo máximo que se debe mantener el concreto desde que se le agrega el agua a la mezcla hasta que se efectúa el colado será de 45 minutos, después de ese tiempo el concreto se eliminará.

Cemento.

En la ejecución de la obra deberá utilizarse solamente una marca del tipo de cemento especificado. En caso de excepción, el Ingeniero Residente podrá autorizar por escrito, el uso de más de una marca. A menos que se especifique u ordene lo contrario, el cemento debe cumplir con las especificaciones para cementos de la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 12 006-11.

El Contratista proveerá medios adecuados para el almacenamiento del cemento y su protección contra la humedad y cualquier otra contingencia. El cemento que, por cualquier razón se haya endurecido parcialmente, tenga terrones o esté endurecido será rechazado y reemplazado a costo del Contratista.

No se permitirá el uso de cemento que pueda recuperarse de aquél que se haya descartado. Cuando hayan sacos incompletos de cemento sano, éstos se podrán utilizar

siempre y cuando sean debidamente pesados en bolsas de 42.5 kg (94 lb.) para garantizar la dosificación designada.

El Ingeniero Residente podrá autorizar el uso de cemento a granel bajo la absoluta responsabilidad y riesgo del Contratista. Esta prerrogativa será suspendida si se comprueba que es perjudicial para la cantidad o para el adecuado control del trabajo. En el evento de que el Contratista proponga usar aditivos para aeración del hormigón, tendrá que notificarlo por escrito al Ingeniero y las condiciones en que dicho aditivo habrá de aplicarse tendrán que ser acordadas por escrito entre el Ingeniero y el Contratista, antes de que su empleo sea permitido.

Nota: Este tipo de cemento será el utilizado para ambos tipos de pavimentos.

Agregado Grueso.

El agregado grueso para el hormigón consistirá en piedra triturada, cascajo u otro material inerte aprobado con características similares, constituido por fragmentos duros, fuertes, durables y libres de revestimientos adheridos.

Las sustancias perjudiciales (incluyendo materias orgánicas tales como astillas o briznas de madera, raíces y hojas, etc.) deberán ser removidas totalmente del agregado grueso.

El agregado grueso deberá tener un porcentaje de desgaste no mayor de 40% a 500 revoluciones, como se determina en el método T 96 de la AASHTO (Prueba "Los Ángeles").

El agregado grueso se conformará con la Especificación M 80 de AASHTO y su granulometría, en porcentajes por peso, que pasan los tamices de laboratorio de malla cuadrada, se ajustará a lo especificado en la norma AASHTO M 43, antes de ser usado y a fin de facilitar la dosificación, el agregado grueso deberá separarse tamizando a través de cedazos de abertura cuadrada de 50.8 mm (2") y 19.0 mm (3/4"), respectivamente.

El Cemento CANAL Tipo GU y los agregados deberán almacenarse de tal manera que se prevenga su deterioro o la introducción de materia extraña; el cemento deberá almacenarse en un sitio por un tiempo máximo de dos meses, estibados en un máximo de 10 sacos. Debe cumplir con las especificaciones para cementos de la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 12 006-11.

Arena.

Toda la arena a utilizar en el proyecto, tanto para la carpeta de rodamiento como para la construcción de andenes y cunetas, deberá ser natural, angular, limpia y libre de cantidades dañinas de sustancias salinas, alcalinas y orgánicas (tipo Motastepe). La

arena deberá pasar toda la zaranda #4 y no más del 10% deberá pasar por la zaranda #100.

Colocación.

Antes del colado del concreto, la base o sub-base debe limpiarse de toda suciedad. Ésta, será humedecida para evitar que absorba agua del concreto.

La descarga del concreto se deberá realizar preferiblemente en ancho completo establecido para la llena. La altura de la descarga del concreto debe ser de 1 m y como máximo 1.20 m para evitar la segregación de los agregados. Descargar la cantidad correcta de concreto en cada sector.

Cuando ocurra interrupción de 1 hora o al finalizar la jornada diaria de colado del concreto, se debe realizar una junta de construcción que garantice el inicio de una nueva sección de losa con el espesor correcto, y que no sea colocado sobre residuos de concreto de la sección anterior.

Cualquiera que sea la longitud de las formaletas y de la losa, el concreto se debe vibrar con la ayuda de vibradores internos para evitar la formación de ratoneras, pero para evitar la segregación, no se debe permitir su acción en un mismo sitio por más de 30 segundos.

Una vez compactado el concreto se nivela superficialmente, con equipos de la terminación, mediante el paso, en el sentido transversal, de una regla de longitud mínima de 3 m colocada longitudinalmente. Si fuera necesaria una adición se debe hacer con concreto fresco de idénticas características al empleado en la construcción del pavimento. En toda la zona involucrada se debe repetir la compactación y nivelación.

No colar el concreto sino hasta que las formaletas, todos los materiales que van empotrados y la adecuación del material de la fundación hayan sido inspeccionados y aprobados por El Ingeniero Supervisor.

Durante y después de la colada del concreto, no se deberá dañar el concreto previamente colocado; Manténganse a los trabajadores fuera del concreto recién hecho. Una vez que el concreto ha fraguado, no perturbar las formaletas y otros elementos que sobresalgan del concreto sino hasta que éste alcance la resistencia suficiente para evitar daños.

Acabado.

Se utilizará un rastrillo especial a base de alambres finos, una vez el concreto haya perdido la humedad superficial, generando así un acabado con textura uniforme.

El estriado transversal de la superficie de la losa debe realizarse mediante un cepillo texturizador que consta de una parte principal en forma de rastrillo o peine, que mide

aproximadamente 80 x 20 cm. Con cerdas metálicas flexibles, y un mango. Este cepillo se usa para dejar una textura estriada transversal en la superficie del concreto. Las cerdas del peine deben tener 3 mm de ancho, separación de cerdas entre 12.5 mm y 25 mm, una longitud de cerda entre 15 y 20 cm., y una penetración de cerda entre 3 y 6 mm, el cual puede utilizarse en forma manual.

Curado.

El curado del concreto fresco debe realizarse con el fin de evitar una evaporación superficial muy rápida lo cual afecta de manera importante las características mecánicas del concreto. El curado del concreto debe realizarse por medio de un método que el Contratista junto con el Supervisor, consideren necesario y adecuado.

Corte.

El corte será en el momento que el concreto adquiera suficiente consistencia para evitar juntas despostilladas, sin embargo, cuando ocurran éstos iguales o menores a 3 cm de la cara del corte podrán ser sellados con el sello de juntas. En casos donde este daño sea mayor a 3 cm, deberá ser reparado con un mortero expansivo. La profundidad del corte será de 1/3" de la losa (4 cm).

Deberá ocuparse un sello semi-flexible a una profundidad de 1/4" soportando por un backerod de 1/4". El sello debe de colocarse de 1 a 3 mm por debajo de la superficie del pavimento para evitar que este sea levantado por las llantas de los vehículos. Después de aplicar el curado de las losas se procederá al corte de las juntas transversales y longitudinales, con discos adecuados para realizar los cortes en seco, o con discos de diamante que se refrigeren con agua.

El corte de las juntas deberá comenzar por las transversales de contracción, e inmediatamente después continuar con las longitudinales. Este corte deberá realizarse cuando el concreto presente las condiciones de endurecimiento propicias para su ejecución y antes de que se produzcan agrietamientos no controlados. El contratista será el responsable de elegir el momento propicio para efectuar esta actividad sin que se presente pérdida de agregado en la junta o desprendimientos de la losa; comenzado el corte deberá continuarse hasta finalizar todas las juntas. El inicio de los trabajos deberá comenzar entre las 3 ó 6 horas de haber colocado el concreto y deberá terminar antes de 16 horas después del colado.

Se realiza un corte inicial con un ancho de 3 mm y a una profundidad de 1/3 del espesor de la losa de concreto. Posteriormente se realiza un ensanchamiento del corte para poder alojar el material de sello.

En el caso de que se requiera realizar los corte de juntas en etapas (escalonados), es decir, efectuar los cortes cada dos juntas dejando las juntas intermedias sin cortar para posteriormente realizar el corte de las intermedias, el segundo corte, o sea el de las intermedias, deberá realizarse antes de 48 horas después de colado y si existe un alto riesgo de fisuración antes de las 24 horas.

Las ranuras aserradas deberán inspeccionarse para asegurar que el corte se haya efectuado hasta la profundidad especificada. Con el fin de garantizar una perfecta adherencia del material sellante a las caras verticales de la caja, se deberá realizar una exhaustiva limpieza de toda materia extraña que se encuentre dentro de cualquier tipo de junta. El uso de este procedimiento deberá garantizar la limpieza total de la junta y la eliminación de todos los residuos del corte.

Insertador de la tirilla de respaldo.

La profundidad para el disco insertador será 9 ó 15 mm dependiendo de si el material es silicona o un material de compuestos orgánicos respectivamente.

Adicionalmente deben cumplir con las condiciones especificadas anteriormente para los productos para juntas que se especifican.

El sello debe ser colocado 7 días después de la colocación del concreto, tiempo en el cual el pavimento de concreto no deberá ser abierto al tránsito ni se deberá colocar sobre el material que se pueda introducir en la junta. No se deberá transitar sobre el sello por lo menos 24 horas después de colado.

Previo al vaciado del compuesto llenante, se coloca una tirilla de respaldo presionándola dentro de la junta con un insertador adecuado. Al colocar el sello de silicona se debe cumplir con el factor de forma mínimo de 1/1 y máximo de 2/1 y si es de componentes orgánicos se deberá cumplir con el factor forma de 1/2, como relación entre dimensiones ancho/profundidad.

Cuidado de los bordes de la losa.

La buena calidad del borde dependerá del buen estado de la formaleta, de su correcta instalación y de un cuidadoso desencofrado o desmoldado.

El contratista debe tomar las disposiciones necesarias para garantizar la limpieza de los bordes de la losa con el fin de permitir un correcto drenaje y así evitar la formación de charcos de agua e incluso de membrana de curado.

No se permitirá los hundimientos de los bordes de la losa producto de excesos de agua.

Cuando estos se presentan deben colocarse formaletas a lo largo de los bordes de la losa y debe colocarse concreto adicional tomado del concreto colocado por delante del equipo de extendido.

Boulevard.

El boulevard se construirá solamente en la parte más ancha de la antigua pista, donde su estación inicial es 0+460.00 km hasta la última estación del tramo de este proyecto, 0+946.97 Km, donde no se cerrará por posible continuidad en el futuro.

El Contratista verificará estos datos en los planos y, junto al Supervisor del proyecto, tendrá en cuenta todos los detalles que aparecen en los mismos. Algunos datos relevantes a considerar son los siguientes:

Ancho (medido del borde interior del bordillo de cada carril de la calle): 1.50 m.

Ancho (sin considerar los bordillos de los carriles): 1.20 m.

Longitud total: 486.97 ml.

El Contratista velará para que los alineamientos sean precisamente los que se indican en las respectivas tablas de este proyecto y en los planos del mismo, para evitar el no ajustar con el derecho de vía existente (es muy angosto en algunos tramos).

10.5.2. Especificaciones para pavimento adoquinado

Estructura y carpeta de rodamiento

El material para la base y sub-base será del proveniente del banco de material de préstamo ubicado en la comunidad Belén. La estructura de pavimento tiene los siguientes espesores:

Adoquín: 10 cm

Arena: 5 cm

Base: 10 cm

Sub-base: 10 cm

Sub-base

La sub-base tendrá un espesor de 10 cm, estará compuesta por material proveniente del banco de préstamo que se localiza en la comunidad Belén. Aunque, para la conformación de esta se puede utilizar material proveniente de otro banco, siempre y cuando, éste tenga un desgaste de los ángeles máximo de: 19%.

El material a utilizar en la sub-base deberá estar limpio de impurezas, de manera que tenga la granulometría apropiada.

La compactación se realizará en una sola capa de 10 cm de espesor y deberá alcanzar un 95% de la densidad Proctor Standard, como mínimo. El número de pasadas

establecidas dependerá del peso de la vibrocompactadora empleada y esto se deja a criterio del ingeniero a cargo.

Las pruebas de compactación en la sub-base se deberán realizar cada 100 metros.

Base

La base tendrá un espesor de 10 cm, estará compuesta por material proveniente del banco de préstamo que se localiza en la comunidad Belén. Aunque, para la conformación de la base puede utilizarse material proveniente de otro banco, siempre y cuando, éste tenga un desgaste de los ángeles máximo: 19%. El material deberá ser tamizado por la malla de 2" para eliminar el material con diámetros indeseables para la compactación de dicha capa.

El material a utilizar en la base deberá estar limpio de impurezas, de manera que tenga la granulometría apropiada.

La compactación se realizará en una sola capa de 10 cm de espesor y deberá alcanzar un 98 % de la densidad Proctor Standard. El número de pasadas establecidas dependerá del peso de la vibrocompactadora empleada y esto se deja a criterio del ingeniero a cargo.

Las pruebas de compactación en la capa de base se deberán realizar cada 50 metros o máximo cada 100 metros.

La superficie resultante debe ser una textura uniforme, donde no se muestren agrietamientos ni segregación de los materiales.

Capa de arena

Se colocará una capa de arena gruesa inmediatamente después de la capa de base que servirá para que descansen la carpeta de rodadura, tendrá un espesor máxima de 0.05 m como se especifica en planos y se deberá realizar una compactación a todo lo largo y ancho del tramo a adoquinar. El constructor deberá asegurar el confinamiento de esta capa por medio de vigas transversales y longitudinales que serán fundidas luego de haber colocado y nivelado el adoquín. La arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser angular y uniforme y no deberá contener más del 3% (en peso) de limo, arcilla o de ambos. Su graduación será tal que pase totalmente por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido en el tamiz No. 10. El espesor de esta capa no deberá ser menor de 3 cm.

Adoquín

El adoquín es un pavimento semirrígido, constituido por bloques de concreto de cemento Portland simplemente colocados a presión, confinados por fundiciones de concreto llamadas llaves, soportados en toda superficie que resista la carga e intensidad del tráfico. Los bloques de adoquín deben ser de un espesor de 0.10, de concreto de

cemento Portland simple, curado durante el tiempo necesario para que alcance una resistencia a la compresión $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ para tránsito pesado.

El adoquín no deberá presentar en su superficie fisuras ni cascaduras ni cavidades, ni tener materiales extraños tales como piedras, trozos de madera o vidrio, embebidos en su masa. Las aristas deberán ser regulares y la superficie no deberá ser extremadamente rugosa. El tamaño de los adoquines deberá ser uniforme para evitar irregularidades o juntas muy anchas al ser colocados.

Colocación de adoquines

La colocación de los bloques se debe de hacer cuidadosamente, encima del terreno conformado y compactado se coloca una capa de 0.05 m de arena gruesa y sobre ella se colocan de tal manera que formen hiladas regulares a nivel, las separaciones máximas no deben exceder bajo ninguna circunstancia 1 cm entre sí y la sisa debe rellenarse con arena fina.

Las sisas o juntas deberán sellarse con arena fina, esta no debe contener granos con diámetros mayores de 2.5 milímetros; para ello, deberá ser tamizada por la malla No. 8.

Además, la arena que se emplee para el sellado de las juntas deberá estar libre de cualquier material orgánico o aglomerante como cal o cemento.

Se garantizará la alineación y la nivelación correcta de los adoquines a través de la implementación de lienzas o hilos formando escuadras longitudinales y transversales. El ingeniero podrá asegurar la alineación de las hiladas de adoquín mediante el método tradicional de escuadras 3-4-5.

Una vez terminada la colocación y el sellado se compactará la superficie de rodamiento con cuantas pasadas de la compactadora sean necesarias para asegurar que los adoquines queden firmes totalmente.

Vigas de confinamiento transversales

Deben colocarse confinamientos de concreto de 0.10 m de ancho y 0.30 m de alto y serán a cada 40 metros. La proporción de concreto para la construcción de las vigas de confinamiento deberá ser de 1:2:3.

Vigas de confinamiento longitudinales o remates laterales

Deben colocarse confinamientos de concreto de 0.10 m de ancho y 0.20 de alto y se colocarán a todo lo largo del tramo a adoquinar. La proporción de concreto para la construcción de llaves de confinamiento deberá tener la proporción de cemento-arena-piedrín de 1:2:3.

10.5.3. Especificaciones técnicas generales

Formaletas.

Las formaletas a utilizar serán de madera, formadas de tablas y cuartones para que sean rígidas, rectas y sin torceduras, tendrán bordes con ángulos rectos, secciones no mayores a 4 metros de largo, altura igual al espesor de la losa, sub-base no menor a 20 cm. Serán resistentes a la presión del concreto, vibración del equipo y deformación por temperaturas. Sin embargo, quedará a juicio de El Contratista la sustitución de algunos materiales de los mencionados anteriormente, siempre y cuando garantice los criterios considerados.

Colocación de las Formaletas.

La fundación de las formaletas laterales deberá ser dura y ajustada a las elevaciones de la sub-base, a fin de que dichas formaletas queden firmemente apoyadas en toda su longitud y en rasante.

Las formaletas serán colocadas con suficiente anticipación a la colocación del concreto para así facilitar la ejecución y aprobación de todas las operaciones que a realizar a lo largo y a los lados de ellas. Después de que las formaletas hayan sido colocadas de conformidad con la rasante correcta, se deberá apisonar ampliamente la sub-base, a máquina o a mano, a ambos lados de la base de dichas formaletas.

Las formaletas serán fijadas en su sitio mediante el uso de 3 o más espigas de madera por cada sección de 4 metros. A ambos lados de cada junta deberá ir una espiga. Las secciones de las formaletas serán firmemente fijadas de modo que carezcan de juego o movimiento en cualquier dirección. La desviación lateral máxima permisible en alineamiento horizontal será de 2 milímetros en cualquier punto y sentido. Su fijación será tal que resistan, sin rebote o asentamiento visibles, el impacto y la vibración del equipo de consolidación y acabado. Las formaletas deberán ser limpiadas y aceitadas antes de la colocación del concreto.

Antes de colocar el concreto debe estar disponible una longitud mínima colocada y alineada de formaletas. Esta longitud debe ser de al menos una hora de trabajo. Las formaletas se deben aceitar en su parte interior, antes de cualquier colocación de concreto.

El máximo uso que se le deberá dar a la formaleta de madera empleada será de 5 a 8 (usos por formaletas) asegurando el mantenimiento adecuado para tales fines y de esta forma serán canceladas en los avalúos por avance de obra, y no deberá ser retirada o desencofrada antes de las 12 (doce) horas de haber fundido el concreto o hasta que el concreto haya fraguado lo suficiente para permitir su remoción sin causar daños.

Construcción de Cunetas y Bordillos.

A ambos bandos de la calle los caites de las cunetas tendrán una sección de 0.30 m (del borde interior del bordillo), en toda la longitud. Cabe señalar que esta medida estará incluida dentro del ancho total de cada carril; es decir, cuando se hable de 3 metros de ancho de cada carril de la vía, el ancho del caite de la cuneta ya estará considerado.

Los bordillos se llevarán a cabo de acuerdo a los detalles especificados en planos; tendrán un ancho de 0.15 m y 0.30 m de alto. La proporción del concreto a utilizar es de 1:2:3; alcanzando los 3000 psi de la manera siguiente:

Las proporciones para un m³ de concreto de 3000 psi, para cunetas y bordillos, es el siguiente:

Cemento	8.20 sacos (42.5 Kg).
Arena	0.56 m ³ malla #4
Grava	0.84 m ³ (Ø: ¾")

La formaleta del bordillo debe ser de madera, las cuales deben estar limpias y debe tener un ancho mínimo de 1". Toda la formaleta para estructura del bordillo debe quedar rígida y fuerte, libre de cualquier deformación que origine defecto en la construcción.

El acabado se debe realizar antes de 24 horas después de haberse colado el concreto, al aplicar el acabado garantizando la alineación con una regla 1"x3" para eliminar todos los defectos que tenga el bordillo .

En el costo de los bordillo se debe incluir todas las actividades que se involucra en su ejecución como son nivelación, excavación, formaleta, la elaboración y colado de concreto, desencontrado, acabado (mortero con arena tamizada con malla N° 4).

Construcción de andenes.

El concreto para las aceras deberá satisfacer los requisitos del NIC-2000 – Estructuras Menores de Concreto, y la clase según sea especificado.

Los andenes serán contruidos sobre suelo natural compactado al 95% de la densidad Proctor Standard. Tendrán un espesor de 7.5 cm. sisados de ½" con modulaciones según se indique en los planos constructivos.

El concreto a utilizarse en la construcción de los andenes tendrá una resistencia a la compresión a los veintiocho (28) días de 3000 psi con revenimiento de 3" a 4" garantizándose curado continuo por siete días como mínimo. Se usará una proporción 1:2:3 para alcanzar tal resistencia, haciéndose la mezcla de la manera siguiente:

Las proporciones para un m³ de concreto para el andén, es el siguiente:

Cemento	8.20 sacos (42.5 Kg).
Arena	0.56 m ³ malla #4
Grava	0.84 m ³ (Ø: ¾")

El concreto a utilizar deberá ser elaborado en el sitio mediante el uso de bateas elaboradas con madera.

El área verde entre el bordillo y el andén será de 30 cm; sin embargo, si no hubiese suficiente espacio se ubicará el andén junto al lindero de las propiedades, para de esta forma evitar que dicho andén quede muy pegado al bordillo de la calle.

Solamente se construirán andenes en la parte reflejada en los planos, pero no se reemplazará el andén existente aunque, éste, no vaya junto a la calle.

Acabado y arenillado.

El Andén deberá ser acabado con mortero 1:3, llevará sisas de expansión transversalmente.

Después de colado el concreto, se procederá a enrasar su superficie con un larguero de madera, de borde recto y de 1 (un) metro de longitud, 6" a 8" de ancho y 1" a 2" centímetros de espesor, con asideras reversibles en sus extremos. En esta operación se removerán de la superficie del concreto todo el exceso de agua, o material inerte. Podrá también darse un acabado natural codaleado con escobeadado; el escobeadado será hecho transversalmente al tráfico y si es necesaria la aplicación de agua, se hará antes del escobeadado. Las formaleas se retirarán después de doce (12) horas de haberse terminado todas las operaciones a que se refieren los puntos anteriores.

El andén llevará sisas de expansión transversalmente a cada 1.00 mts, se hará con regla de ¾", con una profundidad de 1 a 1.5 centímetros, posterior a la hechura del sisado se dará acabado final del andén se efectuará a través de un fino arenillado con mortero 1:3. La arena deberá pasar torda la zaranda # 4, y no más del 10 % deberá pasar por la zaranda # 100, el espesor promedio del repello o acabado será de 0.01 mts, el mortero no podrá ser utilizado si este tiene más de 2 (dos) horas de haber sido elaborado por el proceso de fraguado.

Curado.

Se deberá mantener el concreto en condiciones de humedad por lo menos durante los 7 primeros días después del colado. En tiempos calurosos se deberá iniciar el curado tan pronto como el concreto se haya endurecido lo suficiente.

Conclusiones

El proyecto de “Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua”, se inició con un análisis del estado actual de las calles de dicho municipio; enfocándose principalmente en la vía que funciona como única entrada al pueblo y una vía secundaria que brinda acceso a instituciones públicas como la Estación de Policía y el Instituto Francisco Espinoza. A través de este análisis, se constató el mal estado de ambas vías; a pesar de los esfuerzos de la Alcaldía municipal, son muy evidentes los baches, las charcas y los pedazos de lo que alguna vez fue una carpeta de concreto.

Para realizar la modificación del trazado de las calles, primero se llevó a cabo el levantamiento topográfico con el fin de conocer el espacio disponible, el cual en este lugar es bastante reducido por el descontrolado crecimiento urbanístico del pueblo. Del mismo modo, se hizo el levantamiento de obras existentes, en este caso, únicamente andenes (en ciertas partes del tramo). En el estudio topográfico, mediante el levantamiento altimétrico se determinaron pendientes no mayores del 5%, con esto se puede decir que, el terreno en la zona en estudio es relativamente plano.

Con el propósito de conocer la demanda del tráfico actual se ejecutó el estudio de tránsito. Dicho estudio se realizó durante tres días y se completó mediante el uso de factores de expansión, los cuales fueron referenciados con el estudio de tránsito realizado por el MTI en el 2014; y dicho sea de paso, su aplicación se realizó bajo el asesoramiento de ingenieros del área de planificación del Ministerio de Transporte e Infraestructura. Este estudio dio como resultado un TPDA de 1377 vehículos por día; siendo los vehículos livianos los de mayor afluencia. No obstante, los vehículos clasificados como C2 y C3 representan el factor más importante a considerar en este estudio de tránsito para el diseño estructural, por esta razón, se consideró como vehículo de diseño el tipo C3.

También, en este estudio se proyectó el tránsito a 20 años, para determinar la capacidad de la vía a finales del periodo de diseño, donde se obtuvo que el TPDA para el año 2036 será de 3651 vehículos por día. Con estos datos se determinó el nivel de servicio con el que operará la calle, resultando: Nivel de Servicio B al inicio del periodo de diseño y, Nivel de Servicio C en la finalización de éste.

Con base en los resultados de los distintos ensayos de laboratorios, realizados al suelo que será usado como material para la sub-rasante en los dos tramos de calles que comprende el proyecto, se puede decir que el suelo predominante es la arcilla, con altas o casi iguales proporciones de limo. De acuerdo al método AASHTO (método específico para clasificar suelos en obras horizontales) el suelo más representativo del sitio es del tipo A-7-6. Sin embargo, se presenta otros tipos de suelos en gran cantidad, como el del tipo A-6 y A-5. El primero pertenece al grupo de arcillas y el segundo pertenece a limos

arcillosos, pero en éstos, cuando los porcentajes de arcilla están bastante cercanos con los de limo, el suelo se comporta más como una arcilla.

En cuanto al resultado de la prueba del CBR, para el suelo en estado natural es igual a 3.55%, este valor es considerado muy bajo y se clasifica entonces como un material para sub-rasante muy malo; por tal razón es necesario estabilizar el suelo, en este caso se propone un mejoramiento con Cemento.

Con respecto a lo anterior y con el propósito de proporcionar un estudio de suelo más completo, se llevaron a cabo las pruebas laboratorio necesarias para determinar la dosificación más adecuada para la estabilización del suelo a través de la técnica suelo-cemento. Con dichas pruebas se determinó que: se obtienen muy buenos resultados con un porcentaje de cemento del 16% del valor en peso del suelo fino. Lo cual se alcanza con una proporción 1:4 (1 m³ de suelo seco x 4 bolsas de cemento). Lo anterior, más un porcentaje de humedad óptima de 31.7%, da como resultado un valor de CBR de 21.63%; con este resultado se ubica al suelo como muy bueno para sub-rasante.

Es importante mencionar que el estudio de suelo también abarco el análisis del material del banco de préstamo. Para el cual se obtuvo un valor de CBR de 58.27%, que se alcanzó con una compactación del 100% Proctor estándar. Por lo tanto, este material es adecuado para ser usado como base y sub-base, por sus buenas capacidades mecánicas.

Otro estudio de ingeniería realizado fue el hidrológico, este se ejecutó utilizando archivos Aster GDEM procesados en el software ArcGis 10.2, ya que las hojas topográficas del INETER no permitían una buena apreciación de la zona en estudio. El caudal pico obtenido fue de 0.638 m³/seg, el cual será generado por una lluvia con intensidad de 151.53 mm/hora para un tiempo de concentración de 5 minutos; con una probabilidad de ocurrencia de cada 2 años. El caudal máximo resultante es pequeño, lo que es congruente con la topografía de la zona donde se realizará el proyecto, ya que la mayoría de las aguas de escorrentía tienen drenaje natural principalmente hacia las áreas adyacentes del tramo en estudio.

Teniendo los resultados de todos los estudios realizados se inició, mediante el uso de distintos nomogramas, normas y especificaciones, el diseño estructural de los dos tramos de calles que comprende este diseño vial, encontrando resultados satisfactorios. Obteniendo así, para el tramo 1 que corresponde a un pavimento rígido (concreto hidráulico), espesores para la capa de sub-base y carpeta de rodamiento de 0.20 y 0.16 m, respectivamente. Por otra parte, para el segundo tramo, perteneciente a pavimento semi-rígido (adoquinado), se encontraron espesores de 0.10 m para la capa de sub-base, 0.10 m para la base, 0.05 m para la capa de arena y 0.10 m para la carpeta de rodamiento.

Por otro lado, mediante el estudio hidrológico se identificaron los puntos donde el drenaje cambia de una banda a la otra por efecto de la topografía; en estos puntos se propone la construcción de un badén estándar. En total, son dos badenes los que se necesitan y se ubicaran en las estaciones 0+196 del tramo 1 y 0+501 del tramo 2. Estos badenes tendrán 8% de pendiente longitudinal y 2% de pendiente transversal, de acuerdo a la Guía de Diseño Hidráulico del MTI.

El drenaje longitudinal estará constituido por cunetas de caite, con un ancho de 30 cm. Las cunetas tienen una capacidad máxima de 0.857 m³/seg. El tirante máximo con el que fueron diseñadas es de 12 cm; dando un margen de seguridad de 3 cm, ya que el bordillo tiene una altura de 15 cm.

En el diseño hidráulico se incluyó el diseño de un canal abierto, el cual se ubica desde la intersección en la estación 0+228.8 hasta la estación 0+128.28 en el tramo de pavimento adoquinado. El canal puede conducir hasta 0.8 m³/seg; y tiene la finalidad de transportar las aguas de escorrentía de la calle para evitar el posible arrastre de la arena entre las juntas, ya que la pendiente en este tramo es bastante pronunciada; asimismo, recibirá aguas grises provenientes de las casas, debido a que en este sector, éstas escurren comúnmente por la vía.

En lo que al diseño geométrico se refiere, mediante los resultados del estudio topográfico, en el tramo 1 (T1), se pudieron encontrar 7 puntos de inflexión, y por lo tanto, se diseñaron la misma cantidad de curvas horizontales, encontrándose en los siguientes estacionamientos: 0+080.00, 0+110.22, 0+309.68, 0+447.22, 0+526.84, 0+727.20, 0+836.55. En lo que respecta al alineamiento vertical del tramo 1, se puede afirmar que existen 12 puntos de inflexión vertical, y por lo tanto, se diseñaron la misma cantidad de curvas verticales.

Por otro lado, en el tramo 2, a través del estudio topográfico se logró identificar 6 puntos de inflexión en las cuales era imprescindible la construcción de curvas horizontales. Las estaciones correspondientes a estos puntos son: 0+027.34, 0+271.59, 0+320.42, 0+411.17, 0+610.07 y 0+729.23. También en el alineamiento vertical se identificaron 6 curvas, de las cuales 2 son curvas en columpio y 4 en cresta; siendo las estaciones 0+100, 0+140.71, 0+320.90, 0+501.27, 0+596.32 y 0+755.35 los puntos de inflexión para dichas curvas.

Toda obra de ingeniería causa alteraciones al Medio y este proyecto no es la excepción, por ese motivo se realizó una Evaluación de Impacto Ambiental, pero esta fue enfocada únicamente en los impactos negativos que causará el proyecto, esto debido a que si se trata de sopesar los impactos de una obra, los de mayor interés son los negativos, con el fin de proponer medidas de mitigación, y de esta manera causar la menor alteración posible. El resultado final de la Evaluación arrojó que el proyecto causa un grado de alteración de -38, siendo el movimiento de tierra y la construcción de la

carpeta de rodamiento las etapas que más daño provocan, afectando principalmente al factor suelo y al factor transporte.

Con el objetivo de aminorar los impactos negativos, principalmente en los factores anteriormente mencionados, se propusieron medidas de mitigación, las cuales se llevarán a cabo durante y después de algunas etapas de la obra. Con las medidas propuestas se logró reducir el grado de alteración a -37. La disminución más notable se pudo apreciar en los factores suelo y transporte los cuales pasaron de impactos críticos con alteraciones de -83 y -84 a impactos moderados con valores de -63 y -56 respectivamente.

Posteriormente, no está de más decir que, para efectuar el diseño de este tramo de vía, se realizaron los diferentes estudios de ingeniería requeridos considerando y respetando las normas del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (SIECA 2000 y 2004), y las Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales NIC-2000.

Para concluir, se puede afirmar que para el proyecto de “Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua”, el cual consta de dos tramos de calles, el primero de concreto hidráulico (Tramo 1) y el segundo de adoquinado (Tramo 2), resultaron costos totales de C\$ 15,197,773.00 (quince millones, ciento noventa y siete mil, siete cientos setenta y tres con 00/100 centavos) y C\$ 11,276,089.57 (once millones, dos cientos setenta y seis mil, ochenta y nueve con 57/100 centavos), respectivamente. Dichos costos fueron calculados considerando los precios de los materiales con proveedores en el municipio mencionado.

Recomendaciones

- Si se desea tener mayor información sobre la configuración estratigráfica y la composición del suelo, se recomienda realizar sondeos cada 50 metros y una profundidad mayor a 1.50 metros.
- Seguir estrictamente las especificaciones técnicas. En caso de que el Constructor crea conveniente realizar alguna variación a dichas especificaciones, deberá presentar toda la información necesaria para avalar el cambio.
- Se recomienda se realicen las debidas pruebas de compresión a la carpeta de rodamiento de concreto hidráulico y a los adoquines y, de esta forma asegurar que su resistencia sea de 3500 y 3000 PSI, respectivamente; esto durante las primeras coladas del concreto y antes de que se empiece su colocación (para los adoquines).
- Para colocar la estructura del pavimento se retire todo el material existente hasta la profundidad indicada en los planos del perfil longitudinal y sustituirlo con el material recomendado. Compactar éste en capas no mayores de 15 cm y al 98% o 95% de su densidad seca máxima, según sea el caso.
- Por otro lado, se aconseja realizar una comparación económica entre el mejoramiento con suelo-cemento y otro método como la estabilización usando geotela.
- Asimismo, hacer un análisis comparativo del costo del proyecto calculado en este trabajo y el coste del mismo, considerando el precio de los materiales en Managua más el transporte de estos hasta el sitio del proyecto.

Bibliografía

Ministerio de Transporte e Infraestructuras. (2014). *Red Vial de Nicaragua*. Managua.

Bañón, L. (). *Manual de carreteras*. Lima.

Juárez, E. (2005). *Mecánica de suelos*. México: Limusa.

Casanova, L. (2002). *Topografía Plana*. Mérida.

Chow et al. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá: McGraw Hill.

Montoya, G. (2005). *Apuntes de ingeniería de tránsito*. México.

Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2001). *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales*. Guatemala.

Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2002). *Manual centroamericano para el diseño de pavimentos*. Guatemala.

Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2004). *Manual centroamericano para el diseño de carreteras*. Guatemala.

Ministerio de Transporte e Infraestructuras. (2011). *Guía hidráulica para el diseño de estructuras de drenaje*. Nicaragua.

Ministerio de Vialidad. (2006). *Guía hidráulica para el diseño de estructuras de drenaje*. República Dominicana.

Secretaría de la Intervención Centroamericana. (2004). *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras*. Guatemala.

AASHTO. (1993). *Guía para el diseño de pavimentos*. Estados Unidos.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Anexos



Imagen A-1-1. Situación actual del sitio del proyecto.
Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

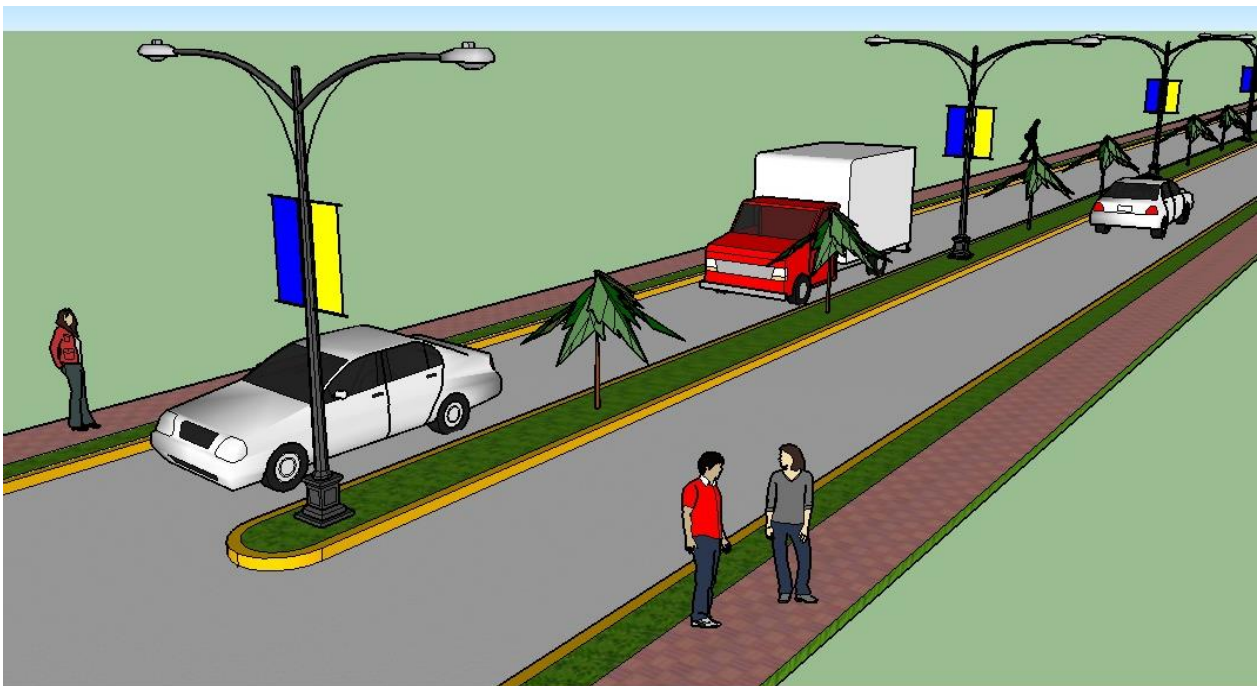


Imagen A-1-1. Modelización en 3D de tramo con Boulevard.
Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla A-3-1. Nivel de servicio (v/c) para carreteras de dos carriles

Nivel de servicio (NS)	Terreno plano						Terreno ondulado						Terreno montañoso					
	Restricción de paso (%)						Restricción de paso (%)						Restricción de paso (%)					
	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	60	100	0	20	40	60	80	100
A	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.14	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01
B	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.26	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13	0.25	0.20	0.16	0.13	0.12	0.10
C	0.43	0.39	0.36	0.34	0.33	0.32	0.42	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	0.39	0.33	0.28	0.23	0.20	0.16
D	0.64	0.62	0.60	0.59	0.55	0.57	0.62	0.57	0.52	0.48	0.46	0.43	0.58	0.55	0.45	0.40	0.37	0.33
E	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.94	0.92	0.91	0.90	0.90	0.91	0.87	0.84	0.82	0.80	0.78

Fuente: Manual de diseño de pavimentos, SIECA (2004).

Tabla A-3-2. Factores de ajuste por distribución direccional del tránsito para carreteras de dos carriles

Separación direccional (%/%)	Factor
50/50	1
60/40	0.94
70/30	0.89
80/20	0.83
90/10	0.75
100/0	0.71

Fuente: Manual de diseño de pavimentos, SIECA (2004).

Tabla A-3-3. Factores de ajuste por ancho de carril

Hombro (m)	Carril 3.65m		Carril 3.35		Carril 3.05m		Carril 2.75m	
	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E
1.80	1.00	1.00	0.93	0.94	0.83	, 0.87	0.70	0.76
1.20	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
0.60	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
0.00	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

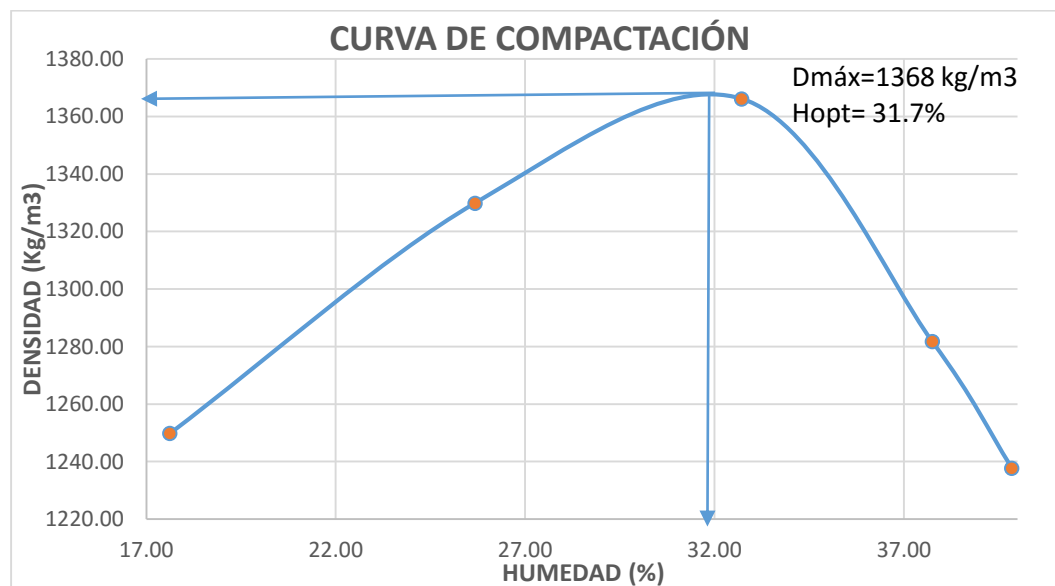
Fuente: Manual de diseño de pavimentos, SIECA (2004).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla A-4-1. Prueba de compactación Proctor Estándar (muestra T1S5M1)

U.N.A.N	FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA					A.L.T.O.R
	DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PROCTOR ESTÁNDAR ASTM D698-91)						
OBRA:	Diseño de 1.75 Km de carretera en el municipio de El Tortuguero, RACCS					
Ubicación:	El Tortuguero, RACCS		Peso del Cilindro (gr)	4188.8	Estación N°:	0+950.00
Sondeo N°:	5		Volumen (cm3)	943.3	Código de muestra:	T1S5M1
ENSAYE N°		1	2	3	4	5
Peso de Molde + Mat. Comp.		5575.5	5765.4	5899.1	5854.3	5821.7
Peso de Suelo Compactado		1386.7	1576.6	1710.3	1665.5	1632.9
Código de la Tara		T1S5M1,1	T1S5M1,2	T1S5M1,3	T1S5M1,4	T1S5M1,5
Peso de la Tara		3.66	3.65	3.66	2.97	3.65
Peso de la Tara + Mat. Hum.		98.37	94.78	98.17	99.12	99.24
Peso de la Tara + Mat. Seco		84.18	76.16	74.87	72.77	72.00
Peso de Agua		14.19	18.62	23.30	26.35	27.24
Peso de Muestra Seca		80.52	72.51	71.21	69.80	68.35
Humedad (%)		17.62	25.68	32.72	37.75	39.85
Densidad Húmeda , Kg/m3		1470.05	1671.37	1813.10	1765.61	1731.05
Densidad Seca, Kg/m3		1249.80	1329.87	1366.11	1281.74	1237.76

Fuente: Elaboración propia. (2016).



Gráfica A-4-1. Densidad máxima y humedad óptima (muestra T1S5M1).

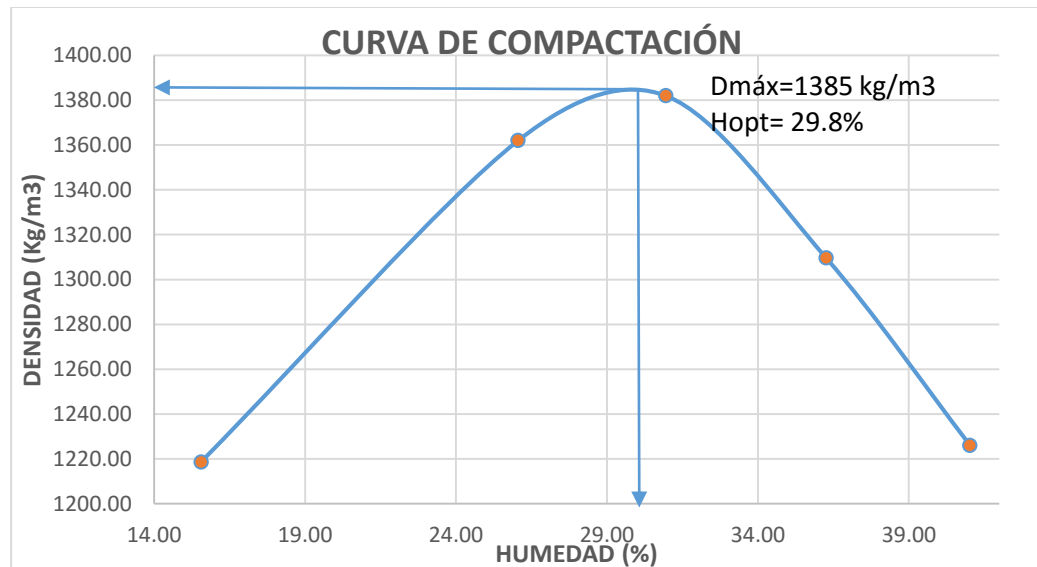
Fuente: Elaboración propia. (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla A-4-2. Prueba de compactación Proctor Estándar (muestra T1S5M3)

U.N.A.N	FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA					A.L.T.O.R
	DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PROCTOR ESTÁNDAR ASTM D698-91)						
OBRA:	Diseño de 1.75 Km de carretera en el municipio de El Tortuguero, RACCS					
Ubicación:	El Tortuguero, RACCS	Peso del Cilindro (gr)	4188.8	Estación N°:	0+950.00	
Sondeo N°:	5	Volumen (cm3)	943.3	Código de muestra:	T1S5M3	
ENSAYE N°	1	2	3	4	5	
Peso de Molde + Mat. Comp.	5517.2	5808.3	5895.9	5872.1	5819.8	
Peso de Suelo Compactado	1328.4	1619.5	1707.1	1683.3	1631	
Código de la Tara	T1S5M3,1	T1S5M3,2	T1S5M3,3	T1S5M3,4	T1S5M3,5	
Peso de la Tara	3.67	3.73	3.69	3.70	3.67	
Peso de la Tara + Mat. Hum.	98.37	94.78	98.17	99.12	99.24	
Peso de la Tara + Mat. Seco	85.62	75.96	75.84	73.73	71.44	
Peso de Agua	12.75	18.82	22.33	25.39	27.80	
Peso de Muestra Seca	81.95	72.23	72.15	70.03	67.77	
Humedad (%)	15.56	26.06	30.95	36.26	41.02	
Densidad Húmeda , Kg/m3	1408.25	1716.85	1809.71	1784.48	1729.04	
Densidad Seca, Kg/m3	1218.65	1361.97	1381.99	1309.65	1226.08	

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).



Gráfica A-4-2. Densidad máxima y humedad óptima (muestra T1S5M3).

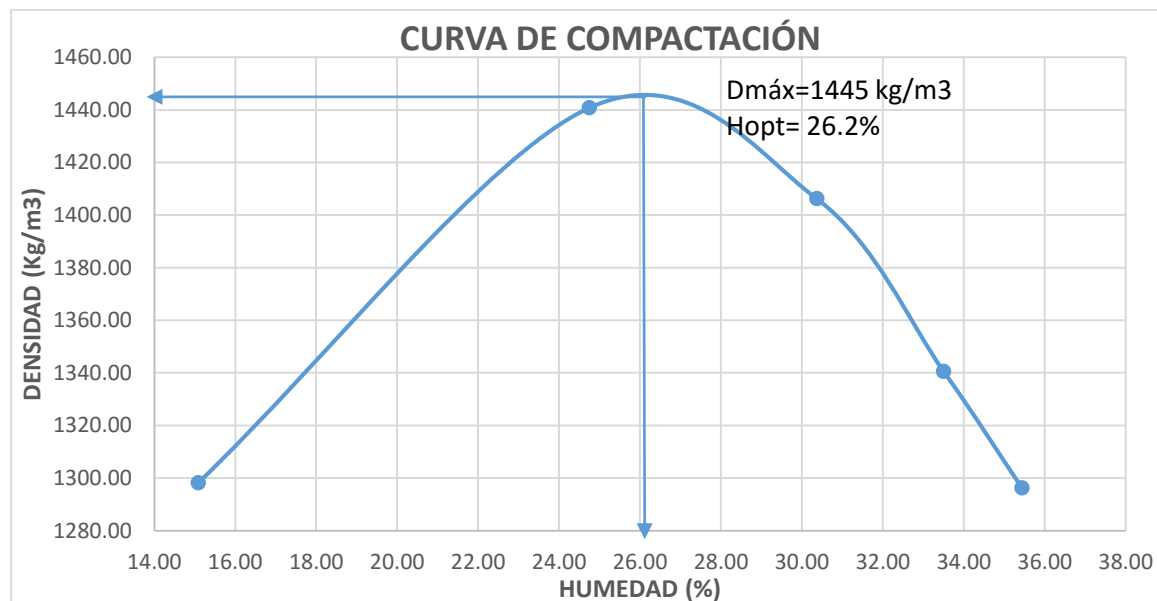
Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla A-4-3. Prueba de compactación Proctor Estándar (muestra T2S1M1)

U.N.A.N	FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA					A.L.T.O.R
	DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PROCTOR ESTÁNDAR ASTM D698-91)						
OBRA:	Diseño de 1.75 Km de carretera en el municipio de El Tortuguero, RACCS					
Ubicación:	El Tortuguero, RACCS		Peso del Cilindro (gr)	4188.8	Estación N°:	0+250.00
Sondeo N°:	1		Volumen (cm3)	943.3	Código de muestra:	T2S1M1
ENSAYE N°		1	2	3	4	5
Peso de Molde + Mat. Comp.		5598.2	5884.2	5918.1	5877	5844.9
Peso de Suelo Compactado		1409.4	1695.4	1729.3	1688.2	1656.1
Código de la Tara		T2S1M1,1	T2S1M1,2	T2S1M1,3	T2S1M1,4	T2S1M1,5
Peso de la Tara		3.72	3.74	3.60	3.71	3.04
Peso de la Tara + Mat. Hum.		103.04	100.08	97.62	98.67	99.51
Peso de la Tara + Mat. Seco		90.02	80.97	75.72	74.84	74.27
Peso de Agua		13.02	19.11	21.90	23.83	25.24
Peso de Muestra Seca		86.30	77.23	72.12	71.13	71.23
Humedad (%)		15.09	24.74	30.37	33.50	35.43
Densidad Húmeda , Kg/m3		1494.12	1797.31	1833.24	1789.67	1755.65
Densidad Seca, Kg/m3		1298.25	1440.79	1406.23	1340.56	1296.31

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).



Gráfica A-4-3. Densidad máxima y humedad óptima (muestra T2S1M1).

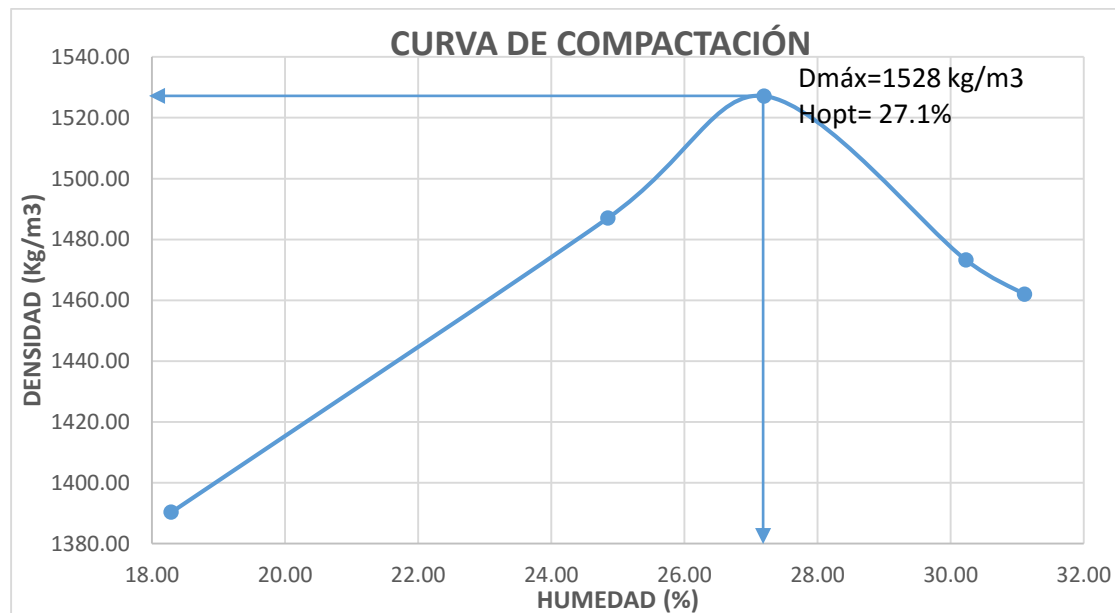
Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla A-4-4. Prueba de compactación Proctor Estándar (muestra T2S3M2)

U.N.A.N	FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA					A.L.T.O.R
	DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PROCTOR ESTÁNDAR ASTM D698-91)						
OBRA:	Diseño de 1.75 Km de carretera en el municipio de El Tortuguero, RACCS					
Ubicación:	El Tortuguero, RACCS	Peso del Cilindro (gr)	4188.8	Estación N°:	0+750.00	
Sondeo N°:	3	Volumen (cm3)	943.3	Código de muestra:	T2S3M2	
ENSAYE N°	1	2	3	4	5	
Peso de Molde + Mat. Comp.	5740.1	5940.1	6021.1	5998.6	5996.9	
Peso de Suelo Compactado	1551.3	1751.3	1832.3	1809.8	1808.1	
Código de la Tara	T2S3M2,1	T2S3M2,2	T2S3M2,3	T2S3M2,4	T2S3M2,5	
Peso de la Tara	3.71	2.99	3.71	3.71	3.63	
Peso de la Tara + Mat. Hum.	103.71	94.78	90.00	91.46	98.92	
Peso de la Tara + Mat. Seco	88.25	76.51	71.55	71.09	76.31	
Peso de Agua	15.46	18.27	18.45	20.37	22.61	
Peso de Muestra Seca	84.54	73.52	67.84	67.38	72.68	
Humedad (%)	18.29	24.85	27.20	30.23	31.11	
Densidad Húmeda , Kg/m3	1644.55	1856.57	1942.44	1918.58	1916.78	
Densidad Seca, Kg/m3	1390.30	1487.03	1527.12	1473.21	1461.98	

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).



Gráfica A-4-4. Densidad máxima y humedad óptima (muestra T2S3M2).

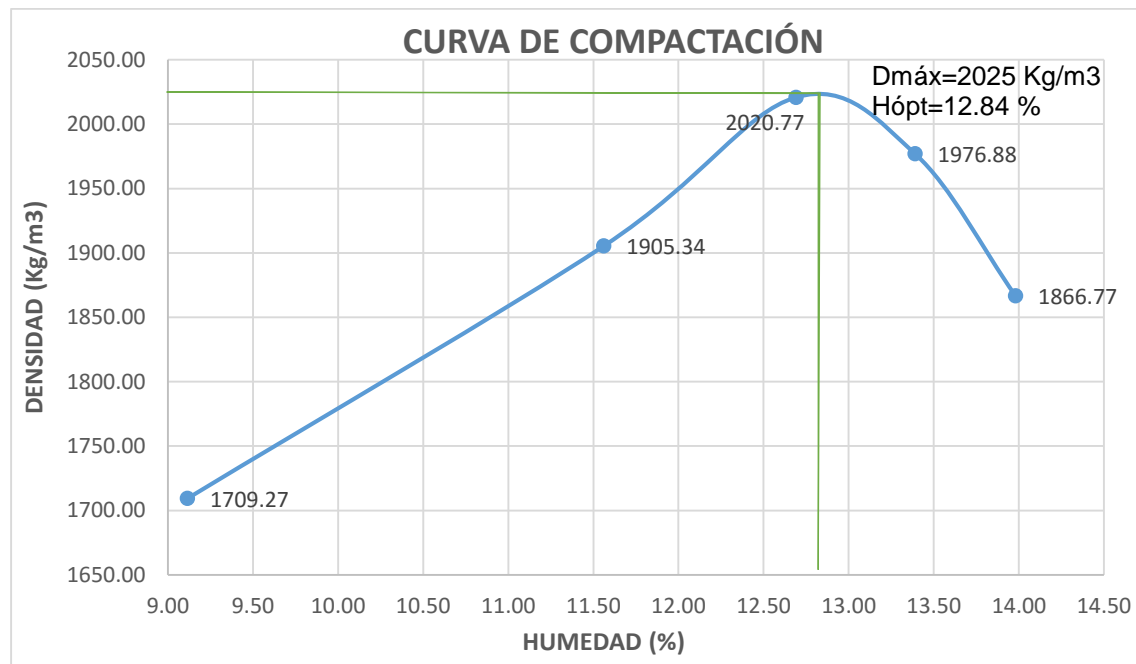
Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla A-4-5. Prueba de compactación Proctor Estándar (Banco de préstamo)

U.N.A.N	FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA					A.L.T.O.R
	DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PROCTOR ESTÁNDAR ASTM D698-91)						
OBRA:	Diseño de 1.75 Km de carretera en el municipio de El Tortuguero, RACCS					
Ubicación:	El Tortuguero, RACCS		Peso del Cilindro	4228.5	Estación N°:	---
Sondeo N°:	---		Volumen (cm3)	943.3	Código de muestra:	MS
ENSAYE N°	1	2	3	4	5	
Peso de Molde + Mat. Comp.	5987.8	6233.6	6376.6	6343	6235.6	
Peso de Suelo Compactado	1759.3	2005.1	2148.1	2114.5	2007.1	
Código de la Tara	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5	
Peso de la Tara	7.26	7.55	7.19	7.05	7.12	
Peso de la Tara + Mat. Hum.	144.58	134.73	151.93	196.14	144.09	
Peso de la Tara + Mat. Seco	133.11	121.55	135.63	173.81	127.29	
Peso de Agua	11.47	13.18	16.30	22.33	16.80	
Peso de Muestra Seca	125.85	114.00	128.44	166.76	120.17	
Humedad (%)	9.11	11.56	12.69	13.39	13.98	
Densidad Húmeda , Kg/m3	1865.05	2125.62	2277.22	2241.60	2127.74	
Densidad Seca, Kg/m3	1709.27	1905.34	2020.77	1976.88	1866.77	

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).



Gráfica A-4-5. Densidad máxima y humedad óptima (Banco de préstamo).

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla A-4-6. Pesos unitarios del material del banco de préstamo

Pesos Unitarios del Material Selecto. ASTM C 29			
	MS-1	MS-2	Promedio
Vol. Molde:	943.3	943.3	943.3
W Molde:	4188.8	4188.8	4188.8
W Molde + WS:	5570.9	5585.4	5578.15
W Molde + WC:	5794.4	5906.9	5850.65
WSuelto:	1382.1	1396.6	1389.35
Wcompacto:	1605.6	1718.1	1661.85
PVSS:	1.47	1.48	1.47
PVSC:	1.70	1.82	1.76

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla A-4-7. Desgaste de los ángeles del material selecto

Desgaste. ASTM C 131	
Wtara:	42.22
Winicial:	4202.22
Wfinal:	3402.70
%Desgaste:	19.22

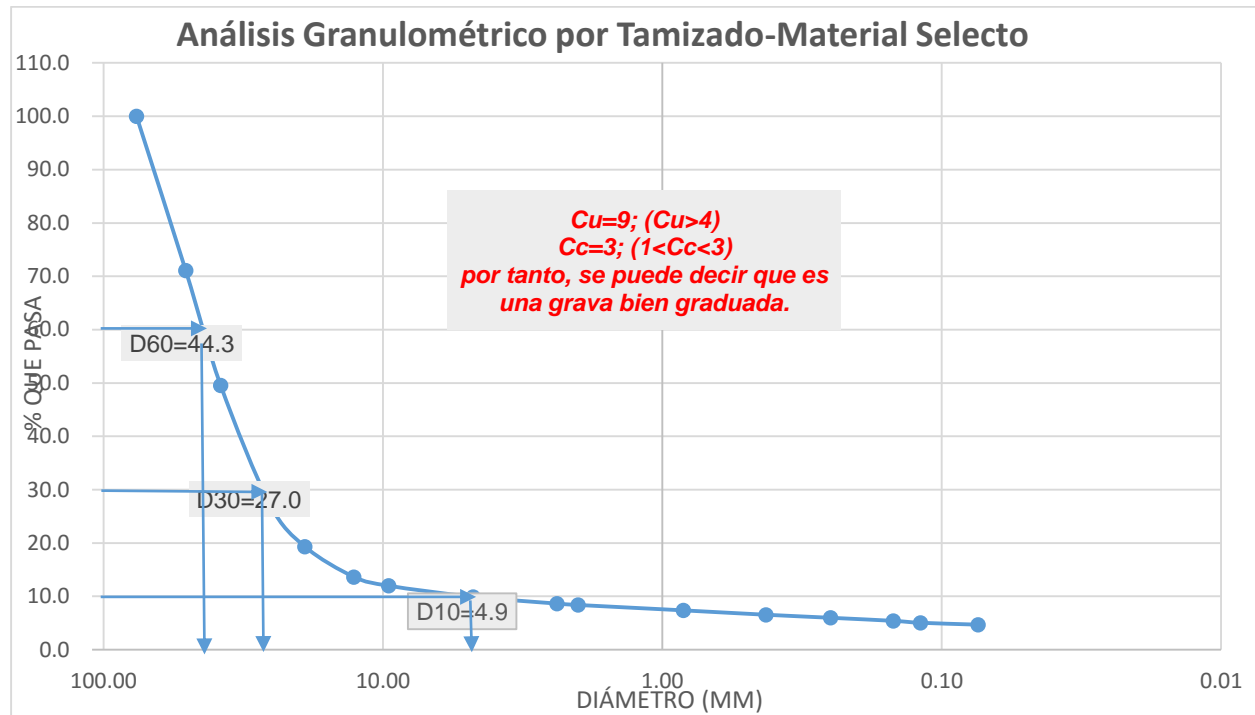
Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla A-4-8. Resultado de granulometría para el banco de préstamo.

U.N.A.N		FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN			
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D - 136					
OBRA:		Diseño de 1.75 Km de carretera en el municipio de El Tortuguero, RACCS			
Ubicación:		El Tortuguero, RACCS		Peso total de la muestra:	5252.5
Tamices		Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
Ø	(mm)				
4"	101.60	0.00	0.0	0.0	100.0
3"	76.20	0.00	0.0	0.0	100.0
2"	50.80	1519.50	28.9	28.9	71.1
1 1/2"	38.10	1129.50	21.5	50.4	49.6
1"	25.40	1172.30	22.3	72.8	27.2
3/4"	19.050	415.30	7.9	80.7	19.3
1/2"	12.700	299.50	5.7	86.4	13.6
3/8"	9.525	87.30	1.7	88.0	12.0
Nº 4	4.760	108.10	2.1	90.1	9.9
Nº 8	2.380	67.30	1.3	91.4	8.6
Nº 10	2.000	13.50	0.3	91.6	8.4
Nº 20	0.840	53.10	1.0	92.6	7.4
Nº 40	0.426	43.10	0.8	93.5	6.5
Nº 60	0.250	29.80	0.6	94.0	6.0
Nº 100	0.149	30.30	0.6	94.6	5.4
Nº 140	0.119	19.00	0.4	95.0	5.0
Nº 200	0.074	18.50	0.4	95.3	4.7
Fondo	---	246.40	4.7	100.0	0.0

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.



Grafica A-4-6. Curva granulométrica del banco de préstamo, Cu y Cc.
Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

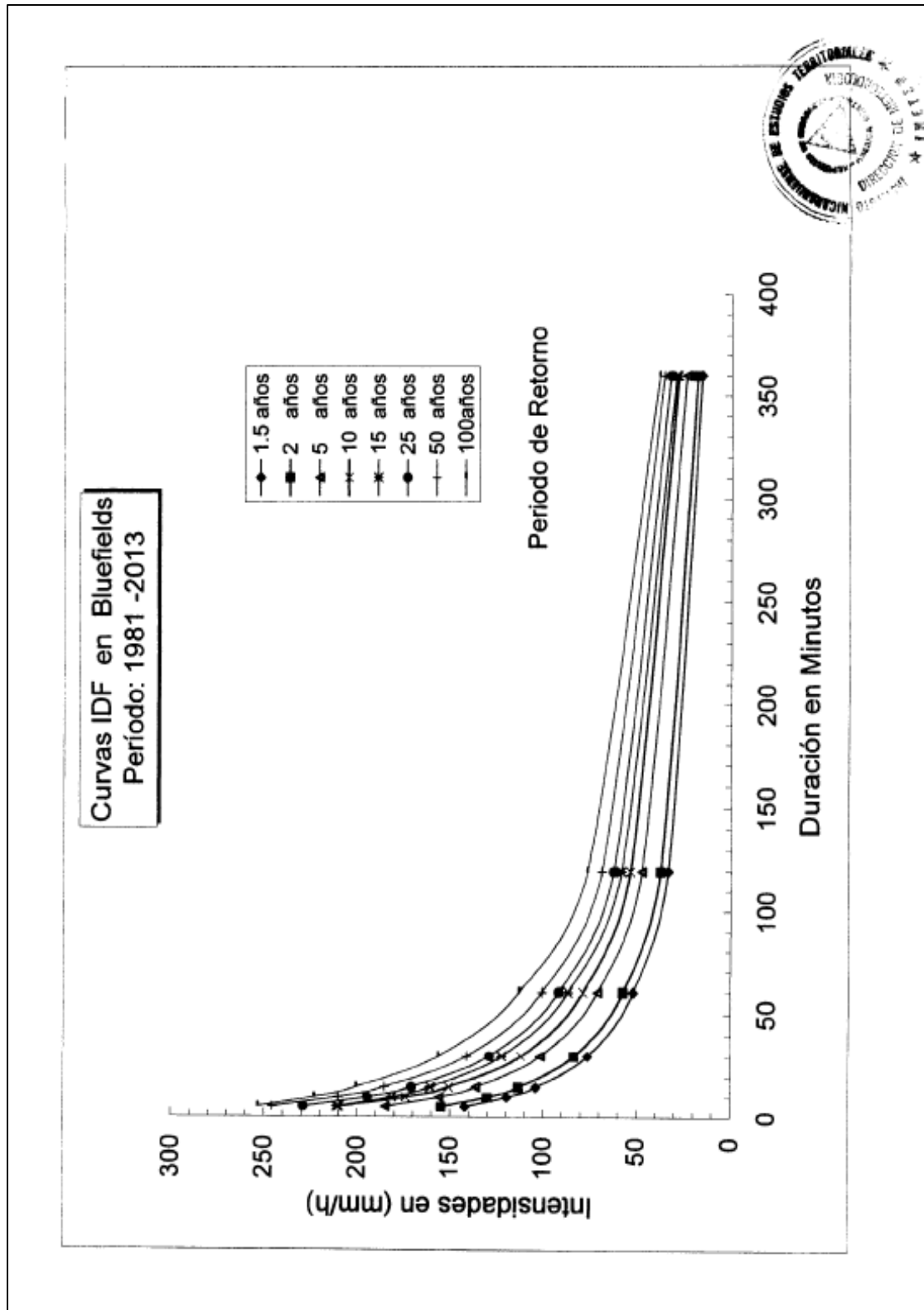


Figura A-5-1. Curvas IDF – Estación Bluefields.
Fuente: Instituto de Estudios Territoriales. (INETER).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

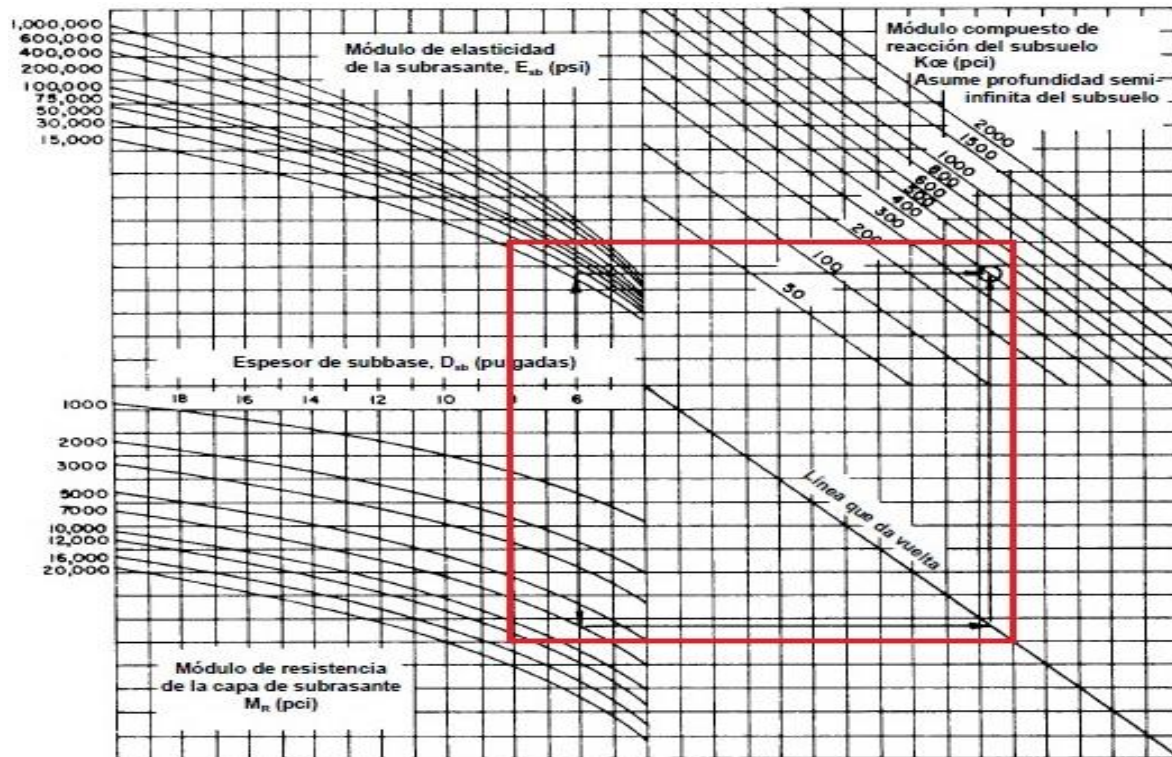


Figura A-6-1. Modulo compuesto de reacción de la sub-rasante (fund. > 3 m).

Fuente: AASHTO. (1993). *Guía para el diseño de pavimentos*.

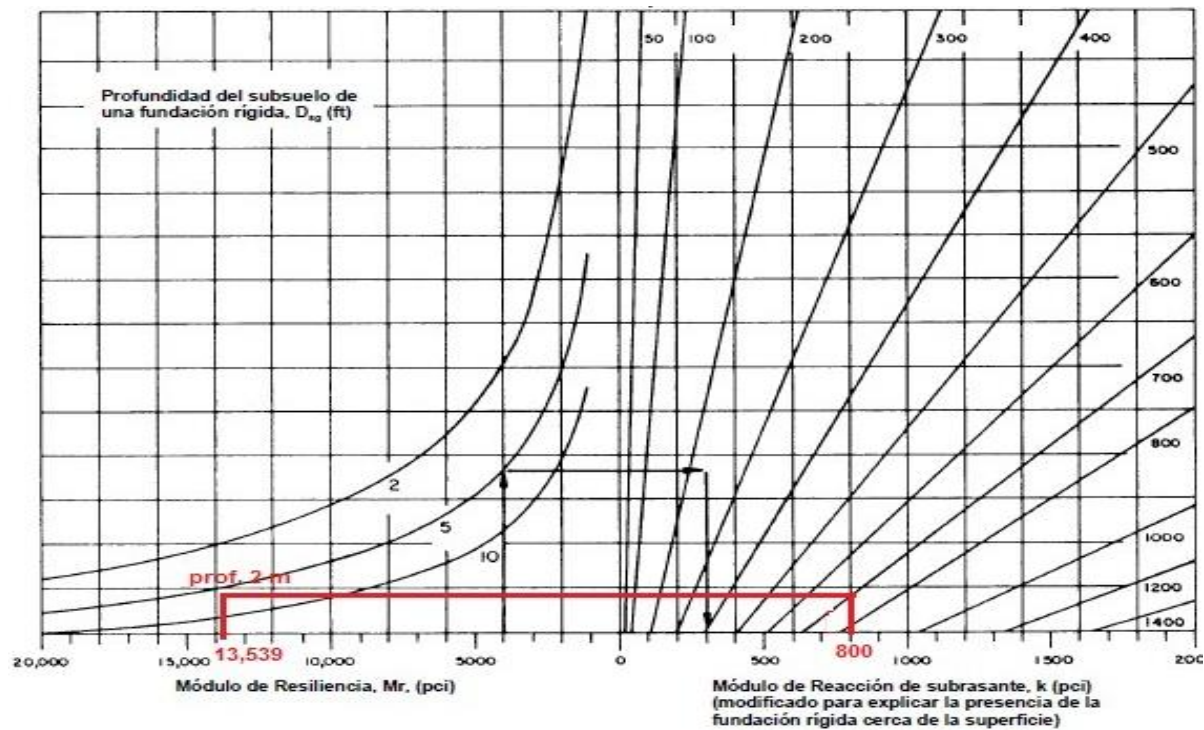
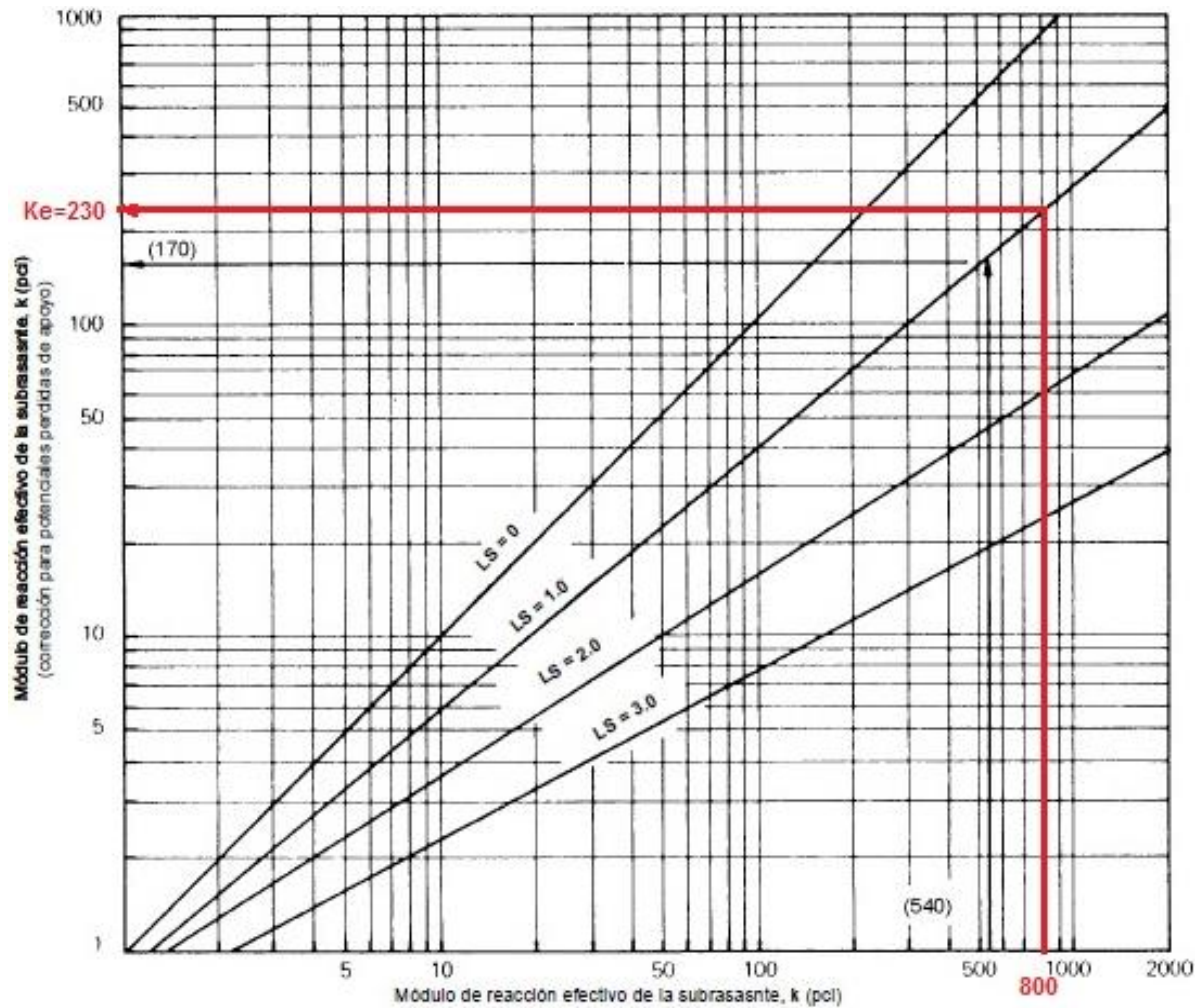


Figura A-6-2. Módulo de reacción, considerando una fundación rígida menor a 3 metros.

Fuente: AASHTO. (1993). *Guía para el diseño de pavimentos*.

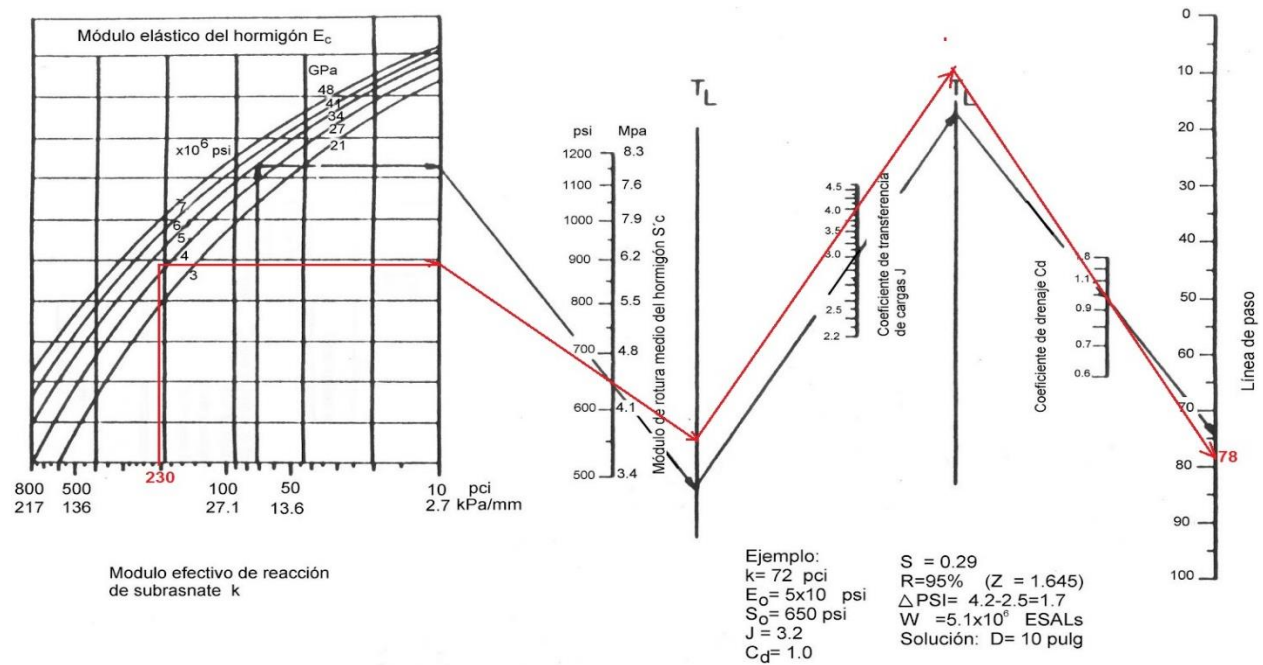
Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.



Grafica A-6-3. Corrección del módulo efectivo de reacción de la sub-rasante por la pérdida de soporte.

Fuente: AASHTO. (1993). *Guía para el diseño de pavimentos*.

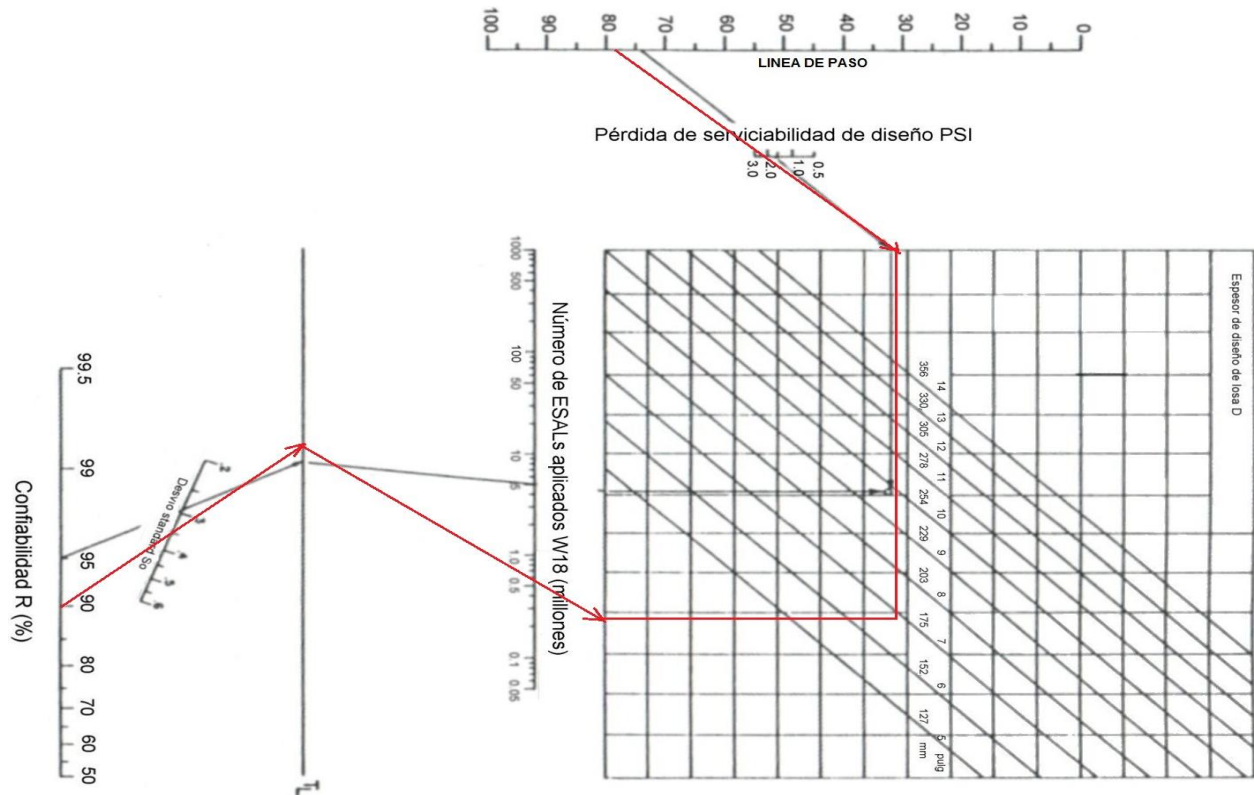
Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.



Grafica A-6-4. Determinación del espesor del pavimento (parte 1).

Fuente: AASHTO. (1993). *Guía para el diseño de pavimentos*.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.



Grafica A-6-5. Determinación del espesor del pavimento (parte 2).

Fuente: AASHTO. (1993). *Guía para el diseño de pavimentos*.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

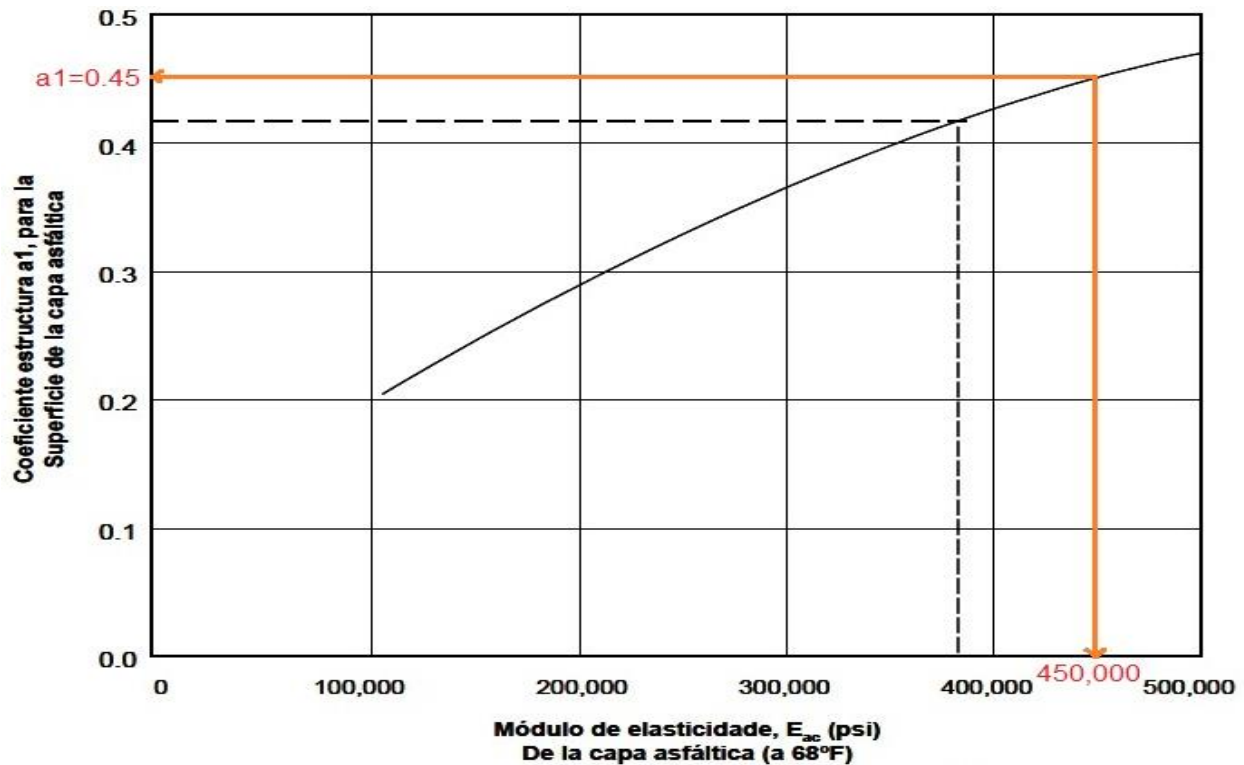


Figura A-6-6. Coeficiente estructural a_1 del pavimento.

Fuente: AASHTO. (1993). *Guía para el diseño de pavimentos*.

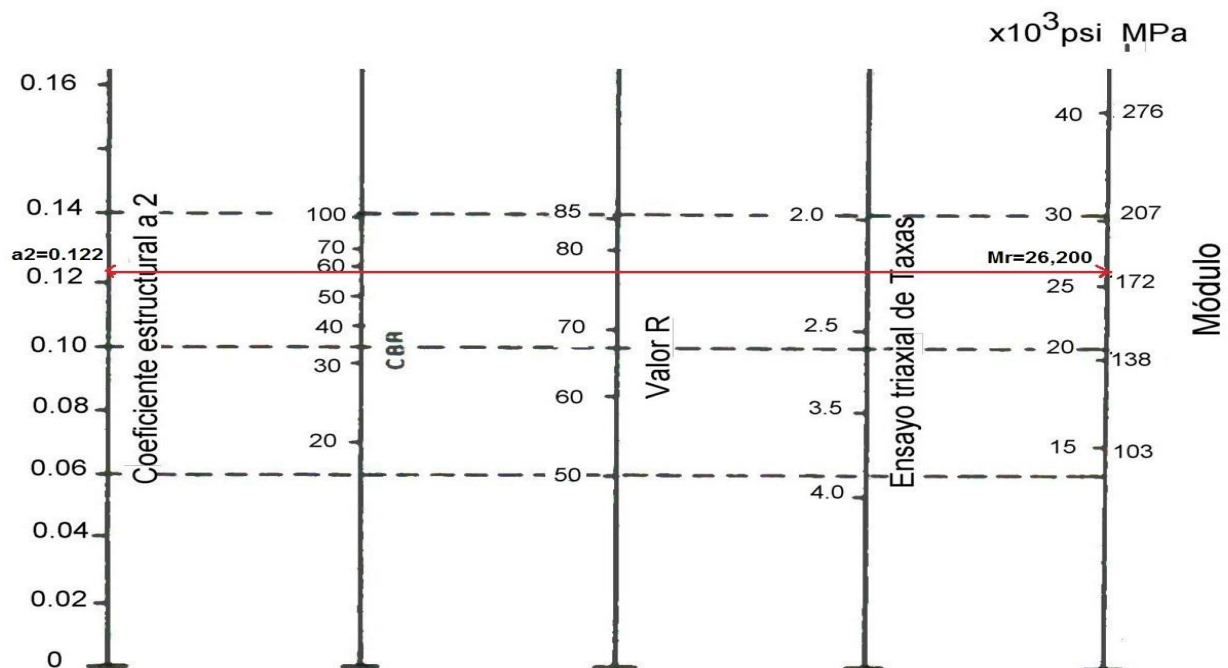


Figura A-6-7. Coeficiente estructural a_2 de la capa base.

Fuente: AASHTO. (1993). *Guía para el diseño de pavimentos*.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

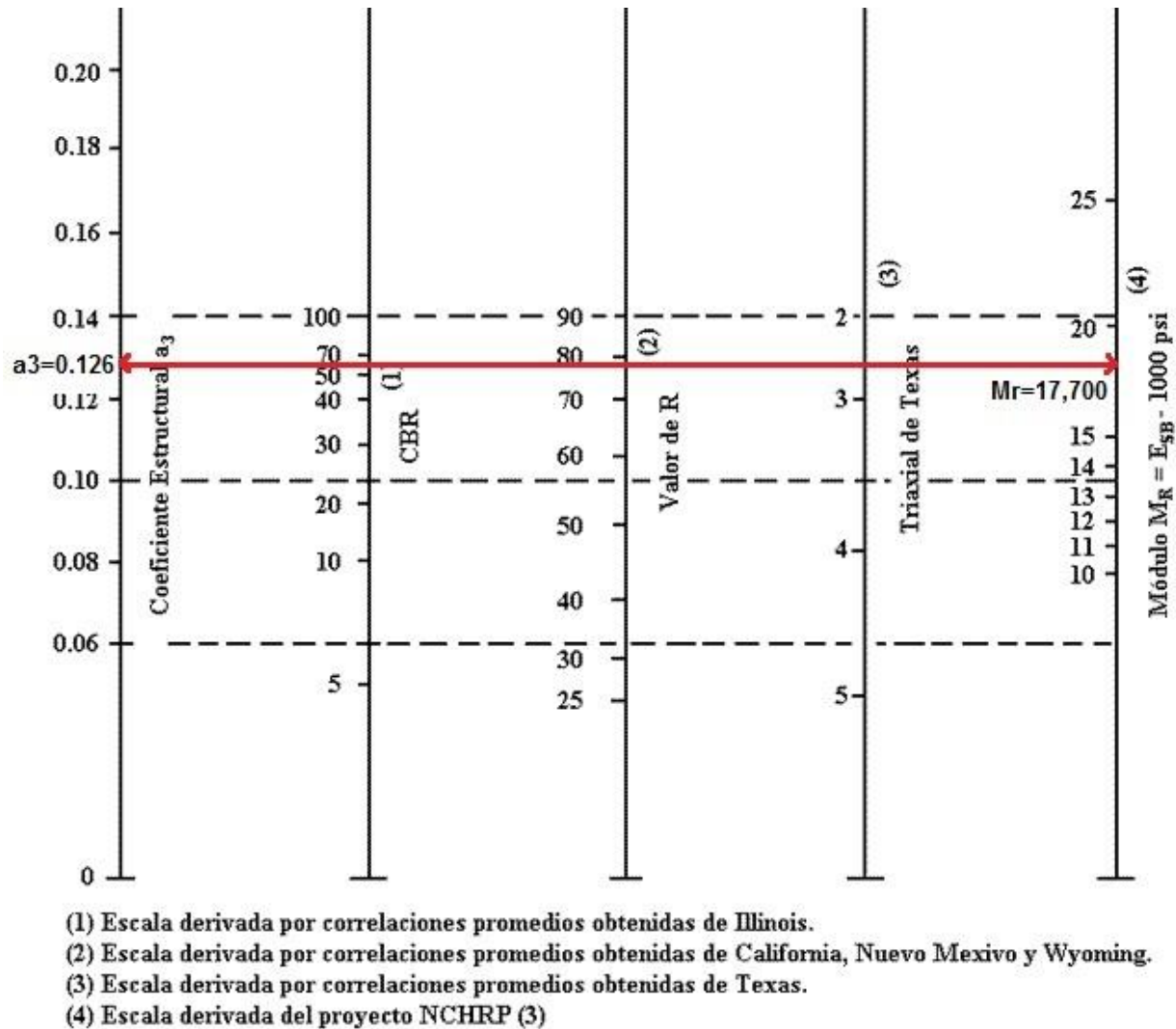


Figura A-6-8. Coeficiente estructural a_3 de la capa sub-base.
Fuente: AASHTO. (1993). *Guía para el diseño de pavimentos*.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

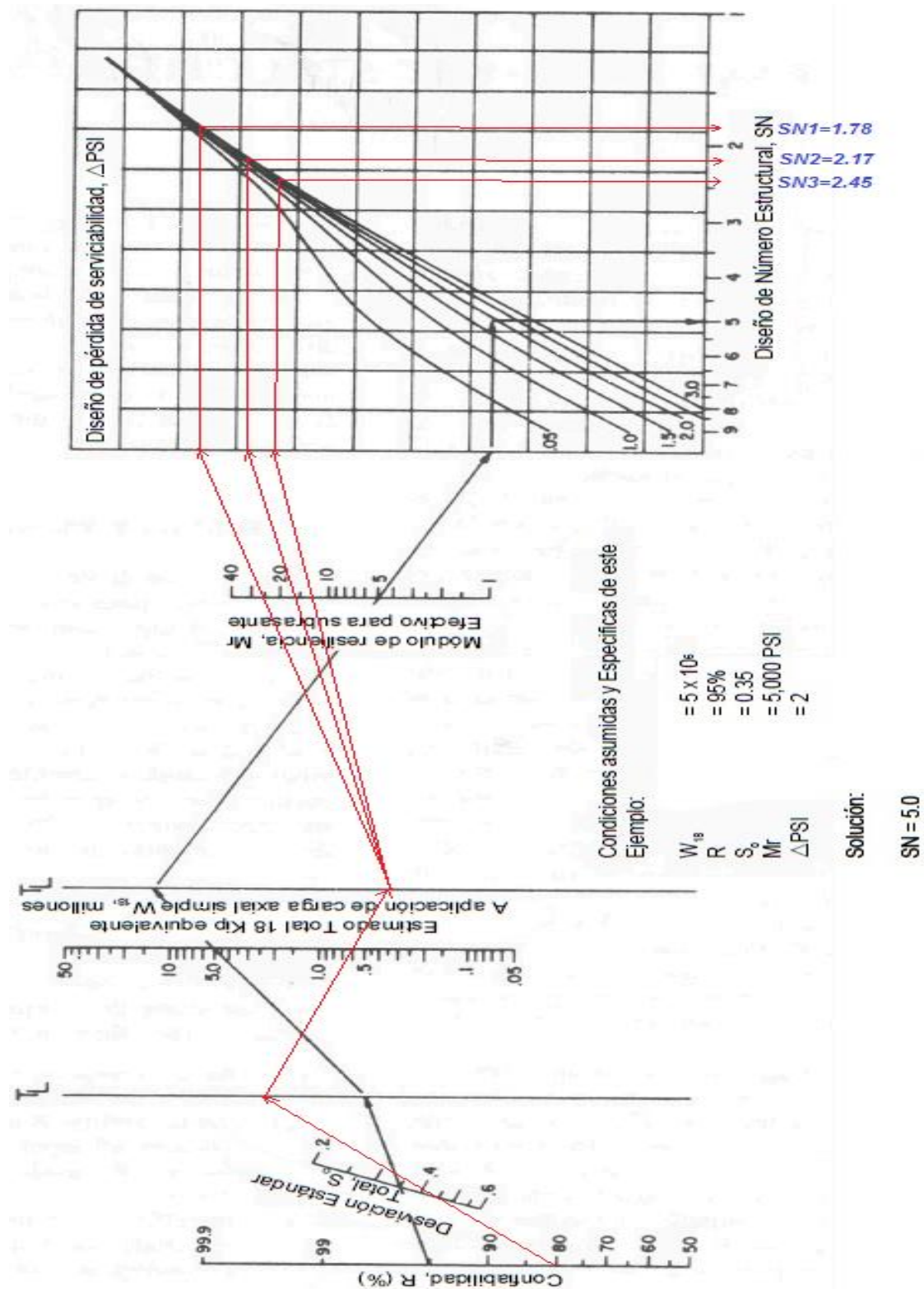


Figura A-6-9. Determinación del Número Estructural para la estructura del pavimento.
Fuente: AASHTO. (1993). Guía para el diseño de pavimentos.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.







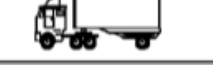


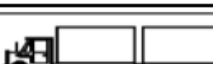
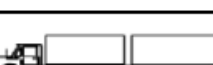
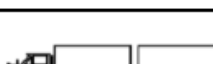
Tabla A-6-10. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t=2.0$

Carga p/eje (Kips) ⁶	Numero estructurales SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.01	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113	108	97	86	81	82

Fuente: AASHTO. (1993). *Guía para el diseño de pavimentos*.

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla A-6-11. Diagrama de cargas permisibles y pesos máximos permisibles por tipo de vehículos.

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMA DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Maximo Total(1) ton. Met.
		1 er. Eje	2 do. Eje	3 er. Eje	4 to. Eje	5 to. Eje	6 to. Eje	
C2		4.50	9.00					13.50
C3		5.00	16.00					21.00
			8.00	8.00				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00		4.0a	5.0a	5.0a	35.00
		5.00	8.00b	8.00b	6.5b	5.0b	5.0b	37.50

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura, MTI (2008).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla A-8-1. Simbología en tablas de los dos tramos viales

SIMBOLOGIA	
C	CORTE
I	TERRAPLEN
SBR	SUBRASANTE
SB	SUB BASE
BH	BASE
CDA	CAPA DE ARENA
CA	CARPETA

Tabla A-8-2. Volúmenes en tramo 1, Concreto Hidráulico

SECCIONES DE TN LEVANTADAS EN CAMPO	VOLUMENES								
	ELEVACIONES		ESPESORES		c	T	SBR	SB	CA
	TN	SUBRASANTE	C	T					
0+000.000	100.088	99.728	0.36	0.00					
0+020.000	100.321	99.941	0.38	0.00	96.67	1.16	36.00	24.00	19.20
0+040.000	100.194	99.807	0.39	0.00	97.58	1.41	36.00	24.00	19.20
0+060.000	99.599	99.241	0.36	0.00	100.77	1.91	36.00	24.00	19.20
0+063.100	99.509	99.149	0.36	0.00	16.40	0.24	5.58	3.72	2.98
0+066.850	99.407	99.041	0.37	0.00	19.48	0.24	6.75	4.50	3.60
0+070.600	99.305	98.967	0.34	0.00	18.12	0.25	6.75	4.50	3.60
0+071.850	99.271	98.951	0.32	0.00	5.60	0.08	2.25	1.50	1.20
0+080.000	99.053	98.957	0.10	0.00	30.74	3.04	14.67	9.78	7.82
0+089.524	100.001	99.205	0.80	0.00	63.22	3.32	17.14	11.43	9.14
0+089.774	100.027	99.215	0.81	0.00	2.54	0.00	0.45	0.30	0.24
0+090.524	100.100	99.246	0.85	0.00	7.90	0.00	1.35	0.90	0.72
0+091.274	100.170	99.279	0.89	0.00	8.39	0.00	1.35	0.90	0.72
0+100.000	101.174	99.745	1.43	0.00	107.47	0.00	15.71	10.47	8.38
0+100.316	101.161	99.762	1.40	0.00	4.14	0.00	0.57	0.38	0.30
0+101.066	101.131	99.804	1.33	0.00	9.65	0.00	1.35	0.90	0.72
0+101.816	101.131	99.846	1.28	0.00	9.29	0.00	1.35	0.90	0.72
0+102.066	101.131	99.860	1.27	0.00	3.02	0.00	0.45	0.30	0.24
0+116.859	101.130	100.688	0.44	0.00	144.87	0.89	26.63	17.75	14.20
0+117.109	101.130	100.702	0.43	0.00	1.86	0.02	0.45	0.30	0.24
0+117.859	101.133	100.744	0.39	0.00	5.61	0.03	1.35	0.90	0.72
0+118.609	101.162	100.785	0.38	0.00	5.76	0.00	1.35	0.90	0.72
0+120.000	101.216	100.863	0.35	0.00	10.60	0.00	2.50	1.67	1.34
0+140.000	102.123	101.710	0.41	0.00	123.78	11.52	36.00	24.00	19.20
0+160.000	102.781	102.313	0.47	0.00	108.21	16.01	36.00	24.00	19.20
0+180.000	103.407	102.916	0.49	0.00	124.68	4.49	36.00	24.00	19.20
0+200.000	103.954	103.519	0.44	0.00	120.69	0.05	36.00	24.00	19.20
0+220.000	104.544	104.163	0.38	0.00	103.99	1.54	36.00	24.00	19.20
0+240.000	105.361	104.994	0.37	0.00	96.78	2.92	36.00	24.00	19.20
0+260.000	106.323	105.849	0.47	0.00	105.79	1.55	36.00	24.00	19.20

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla A-8-3. Volúmenes en tramo 1, Concreto Hidráulico (Continuación)

					VOLUMENES				
SECCIONES DE TN LEVANTADAS EN CAMPO	ELEVACIONES		ESPESTORES		C	T	SBR	SB	CA
	TN	SUBRASANTE	C	T					
0+263.763	106.508	106.010	0.50	0.00	22.12	0.03	6.77	4.52	3.61
0+271.263	106.838	106.330	0.51	0.00	42.98	0.53	13.50	9.00	7.20
0+278.763	107.037	106.631	0.41	0.00	37.97	2.58	13.50	9.00	7.20
0+280.000	107.070	106.673	0.40	0.00	5.68	0.71	2.23	1.48	1.19
0+281.263	107.103	106.713	0.39	0.00	5.77	0.78	2.27	1.52	1.21
0+300.000	107.534	107.049	0.49	0.00	94.50	9.96	33.73	22.48	17.99
0+320.000	107.643	107.271	0.37	0.00	106.30	9.17	36.00	24.00	19.20
0+338.090	107.602	107.471	0.13	0.00	75.22	11.93	32.56	21.71	17.37
0+340.000	107.633	107.492	0.14	0.00	6.17	1.56	3.44	2.29	1.83
0+340.590	107.643	107.499	0.14	0.00	1.92	0.48	1.06	0.71	0.57
0+348.090	107.764	107.582	0.18	0.00	25.98	5.42	13.50	9.00	7.20
0+355.590	107.908	107.665	0.24	0.00	29.30	3.90	13.50	9.00	7.20
0+360.000	107.997	107.714	0.28	0.00	18.62	1.89	7.94	5.29	4.23
0+380.000	108.319	107.936	0.38	0.00	91.09	8.56	36.00	24.00	19.20
0+400.000	108.635	108.158	0.48	0.00	104.90	5.61	36.00	24.00	19.20
0+420.000	108.819	108.380	0.44	0.00	111.80	3.59	36.00	24.00	19.20
0+440.000	108.941	108.600	0.34	0.00	114.73	6.17	40.50	27.00	21.60
0+445.026	108.981	108.636	0.35	0.00	26.15	2.14	10.18	6.78	5.43
0+445.776	108.987	108.639	0.35	0.00	3.83	0.41	1.52	1.01	0.81
0+446.526	108.993	108.642	0.35	0.00	3.72	0.53	1.52	1.01	0.81
0+446.776	108.992	108.643	0.35	0.00	1.23	0.19	0.51	0.34	0.27
0+447.676	108.990	108.646	0.34	0.00	4.37	0.73	1.82	1.22	0.97
0+447.926	108.990	108.647	0.34	0.00	1.20	0.21	0.51	0.34	0.27
0+448.676	108.988	108.648	0.34	0.00	3.65	0.57	1.52	1.01	0.81
0+449.426	108.987	108.650	0.34	0.00	3.76	0.44	1.52	1.01	0.81
0+460.000	108.940	108.617	0.32	0.00	56.66	6.87	23.79	15.86	12.69
0+480.000	108.759	108.497	0.26	0.00	98.83	17.62	45.00	30.00	24.00
0+500.000	108.730	108.377	0.35	0.00	104.16	17.39	45.00	30.00	24.00
0+501.063	108.729	108.371	0.36	0.00	5.98	0.84	2.39	1.59	1.28
0+508.563	108.713	108.326	0.39	0.00	42.50	5.51	16.88	11.25	9.00
0+516.063	108.784	108.282	0.50	0.00	43.50	5.11	16.88	11.25	9.00
0+518.563	108.802	108.273	0.53	0.00	15.01	1.62	5.63	3.75	3.00
0+520.000	108.813	108.272	0.54	0.00	8.78	0.88	3.23	2.16	1.72
0+535.125	108.947	108.409	0.54	0.00	90.93	10.88	34.03	22.69	18.15
0+537.625	108.969	108.455	0.51	0.00	14.45	2.24	5.63	3.75	3.00
0+540.000	108.984	108.499	0.48	0.00	13.34	2.33	5.34	3.56	2.85
0+545.125	109.016	108.593	0.42	0.00	27.82	5.36	11.53	7.69	6.15
0+552.625	109.064	108.731	0.33	0.00	37.98	8.53	16.88	11.25	9.00
0+560.000	109.113	108.866	0.25	0.00	32.97	9.78	16.59	11.06	8.85
0+580.000	109.429	109.233	0.20	0.00	78.15	30.07	45.00	30.00	24.00
0+600.000	109.883	109.600	0.28	0.00	81.27	27.70	45.00	30.00	24.00
0+620.000	110.333	109.968	0.37	0.00	87.82	25.53	45.00	30.00	24.00
0+640.000	110.705	110.335	0.37	0.00	90.84	24.55	45.00	30.00	24.00
0+660.000	111.077	110.702	0.37	0.00	99.75	19.54	45.00	30.00	24.00

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) – Nicaragua.

Tabla A-8-4. Volúmenes en tramo 1, Concreto Hidráulico (Continuación)

SECCIONES DE TN LEVANTADAS EN CAMPO	VOLUMENES								
	ELEVACIONES		ESPESORES		C	T	SBR	SB	CA
	TN	SUBRASANTE	C	T					
0+680.000	111.353	111.030	0.32	0.00	102.84	15.71	45.00	30.00	24.00
0+700.000	111.315	110.941	0.37	0.00	104.41	13.44	45.00	30.00	24.00
0+703.306	111.288	110.908	0.38	0.00	17.93	1.92	7.44	4.96	3.97
0+710.806	111.215	110.834	0.38	0.00	40.21	4.97	16.88	11.25	9.00
0+718.306	111.143	110.761	0.38	0.00	38.87	6.53	16.88	11.25	9.00
0+720.000	111.126	110.748	0.38	0.00	8.60	1.69	3.81	2.54	2.03
0+720.806	111.118	110.742	0.38	0.00	4.08	0.82	1.81	1.21	0.97
0+733.611	111.135	110.731	0.40	0.00	66.61	11.76	28.81	19.21	15.37
0+736.111	111.162	110.745	0.42	0.00	13.52	1.90	5.63	3.75	3.00
0+740.000	111.202	110.771	0.43	0.00	21.74	2.30	8.75	5.83	4.67
0+743.611	111.237	110.795	0.44	0.00	21.14	1.42	8.13	5.42	4.33
0+751.111	111.287	110.845	0.44	0.00	46.91	2.27	16.88	11.25	9.00
0+760.000	111.331	110.905	0.43	0.00	57.25	2.54	20.00	13.33	10.67
0+780.000	111.410	111.040	0.37	0.00	121.34	7.46	45.00	30.00	24.00
0+800.000	111.452	111.174	0.28	0.00	107.19	13.32	45.00	30.00	24.00
0+802.487	111.452	111.191	0.26	0.00	12.17	2.21	5.59	3.73	2.98
0+813.737	111.447	111.252	0.19	0.00	50.17	12.71	25.31	16.87	13.50
0+820.000	111.439	111.223	0.22	0.00	25.80	8.59	14.09	9.40	7.52
0+824.987	111.432	111.157	0.28	0.00	21.77	6.70	11.22	7.48	5.98
0+828.737	111.373	111.082	0.29	0.00	17.38	4.78	8.44	5.63	4.50
0+840.000	111.099	110.814	0.29	0.00	51.53	14.97	25.34	16.90	13.52
0+844.359	110.971	110.710	0.26	0.00	19.12	6.24	9.81	6.54	5.23
0+848.109	110.901	110.621	0.28	0.00	16.61	5.29	8.44	5.63	4.50
0+859.359	110.859	110.373	0.49	0.00	62.37	9.60	25.31	16.88	13.50
0+860.000	110.856	110.363	0.49	0.00	4.22	0.21	1.44	0.96	0.77
0+870.609	110.814	110.291	0.52	0.00	74.42	2.43	23.87	15.91	12.73
0+880.000	110.791	110.344	0.45	0.00	64.93	2.17	21.13	14.09	11.27
0+900.000	110.784	110.479	0.31	0.00	114.20	11.71	45.00	30.00	24.00
0+920.000	110.899	110.613	0.29	0.00	96.31	18.13	45.00	30.00	24.00
0+940.000	111.086	110.748	0.34	0.00	96.90	19.07	45.00	30.00	24.00
0+946.974	111.155	110.795	0.36	0.00	35.72	6.52	15.69	10.46	8.37

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla A-8-5. Volúmenes en tramo 2, Concreto semi-rígido

SECCIONES DE TN LEVANTAD AS EN CAMPO	VOLÚMENES										
	ELEVACIONES		ESPEORES		C	I	SBR	SB	BH	CDA	CA
	TN	SUBRASA NTE	C	T							
0+000.000	101.110	100.810	0.30	0.00							
0+003.820	101.295	100.965	0.33	0.00	17.34	0.14	6.88	2.29	2.29	1.15	2.29
0+004.570	101.331	100.995	0.34	0.00	3.46	0.04	1.35	0.45	0.45	0.23	0.45
0+005.320	101.368	101.026	0.34	0.00	3.37	0.13	1.35	0.45	0.45	0.23	0.45
0+005.570	101.380	101.036	0.34	0.00	1.11	0.07	0.45	0.15	0.15	0.08	0.15
0+020.000	102.034	101.620	0.41	0.00	67.58	4.61	25.97	8.66	8.66	4.33	8.66
0+038.399	102.930	102.365	0.56	0.00	99.95	3.17	33.12	11.04	11.04	5.52	11.04
0+040.000	103.008	102.430	0.58	0.00	9.53	0.00	2.88	0.96	0.96	0.48	0.96
0+044.149	103.161	102.598	0.56	0.00	24.63	0.00	7.47	2.49	2.49	1.24	2.49
0+060.000	103.747	103.240	0.51	0.00	92.42	0.00	28.53	9.51	9.51	4.76	9.51
0+061.399	103.787	103.297	0.49	0.00	7.96	0.00	2.52	0.84	0.84	0.42	0.84
0+078.649	104.276	103.996	0.28	0.00	84.63	0.49	31.05	10.35	10.35	5.18	10.35
0+080.000	104.314	104.050	0.26	0.00	5.54	0.08	2.43	0.81	0.81	0.41	0.81
0+100.000	104.949	104.771	0.18	0.00	73.08	2.99	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+120.000	105.071	104.710	0.36	0.00	78.64	2.75	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+140.000	104.978	104.632	0.35	0.00	100.00	0.49	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+160.000	105.661	105.309	0.35	0.00	104.95	0.22	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+180.000	106.691	106.092	0.60	0.00	114.01	0.06	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+200.000	107.743	106.875	0.87	0.00	159.00	0.00	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+220.000	108.726	107.658	1.07	0.00	205.12	0.00	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+240.000	109.382	108.440	0.94	0.00	219.85	0.00	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+249.186	109.725	108.800	0.92	0.00	96.26	0.00	16.53	5.51	5.51	2.76	5.51
0+252.936	109.865	108.947	0.92	0.00	36.12	0.00	6.75	2.25	2.25	1.13	2.25
0+256.686	110.005	109.093	0.91	0.00	34.22	0.00	6.75	2.25	2.25	1.13	2.25
0+257.936	110.053	109.142	0.91	0.00	11.13	0.00	2.25	0.75	0.75	0.38	0.75
0+260.000	110.131	109.223	0.91	0.00	18.30	0.00	3.72	1.24	1.24	0.62	1.24

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla A-8-6. Volúmenes en tramo 2, Concreto semi-rígido (Continuación)

SECCIONES DE TN LEVANTADAS EN CAMPO	VOLÚMENES										
	ELEVACIONES		ESPESORES		C	I	SBR	SB	BH	CDA	CA
	TN	SUBRAS ANTE	C	T							
0+280.000	110.747	110.006	0.74	0.00	164.38	0.00	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+284.775	110.906	110.193	0.71	0.00	35.66	0.00	8.59	2.86	2.86	1.43	2.86
0+286.025	110.945	110.242	0.70	0.00	9.08	0.00	2.25	0.75	0.75	0.37	0.75
0+289.775	111.061	110.388	0.67	0.00	27.04	0.00	6.75	2.25	2.25	1.13	2.25
0+293.525	111.178	110.535	0.64	0.00	27.10	0.00	6.75	2.25	2.25	1.13	2.25
0+294.196	111.199	110.562	0.64	0.00	4.85	0.00	1.21	0.40	0.40	0.20	0.40
0+299.446	111.364	110.767	0.60	0.00	36.55	0.00	9.45	3.15	3.15	1.58	3.15
0+300.000	111.382	110.789	0.59	0.00	3.71	0.00	1.00	0.33	0.33	0.17	0.33
0+304.696	111.517	110.972	0.54	0.00	29.73	0.00	8.45	2.82	2.82	1.41	2.82
0+306.446	111.552	111.041	0.51	0.00	10.29	0.00	3.15	1.05	1.05	0.53	1.05
0+320.000	111.769	111.459	0.31	0.00	64.80	1.24	24.40	8.13	8.13	4.07	8.13
0+323.446	111.810	111.493	0.32	0.00	13.16	0.64	6.20	2.07	2.07	1.03	2.07
0+327.446	111.768	111.491	0.28	0.00	15.04	0.84	7.20	2.40	2.40	1.20	2.40
0+339.446	111.686	111.326	0.36	0.00	48.61	1.99	21.60	7.20	7.20	3.60	7.20
0+340.000	111.685	111.318	0.37	0.00	2.45	0.06	1.00	0.33	0.33	0.17	0.33
0+351.446	111.521	111.145	0.38	0.00	51.06	1.00	20.60	6.87	6.87	3.43	6.87
0+360.000	111.362	111.015	0.35	0.00	37.81	0.91	15.40	5.13	5.13	2.57	5.13
0+380.000	111.126	110.712	0.41	0.00	89.86	2.21	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+400.000	110.849	110.410	0.44	0.00	93.70	1.73	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+405.610	110.788	110.325	0.46	0.00	27.21	0.37	10.10	3.37	3.37	1.68	3.37
0+407.110	110.778	110.302	0.48	0.00	7.43	0.07	2.70	0.90	0.90	0.45	0.90
0+408.610	110.768	110.280	0.49	0.00	7.42	0.09	2.70	0.90	0.90	0.45	0.90
0+409.110	110.764	110.272	0.49	0.00	2.50	0.04	0.90	0.30	0.30	0.15	0.30
0+411.229	110.758	110.240	0.52	0.00	10.98	0.14	3.81	1.27	1.27	0.64	1.27
0+412.229	110.754	110.225	0.53	0.00	5.33	0.05	1.80	0.60	0.60	0.30	0.60
0+415.229	110.752	110.179	0.57	0.00	16.88	0.09	5.40	1.80	1.80	0.90	1.80
0+418.229	110.754	110.134	0.62	0.00	18.50	0.02	5.40	1.80	1.80	0.90	1.80
0+420.000	110.755	110.107	0.65	0.00	11.62	0.00	3.19	1.06	1.06	0.53	1.06
0+440.000	110.663	109.805	0.86	0.00	157.27	0.00	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+460.000	110.279	109.502	0.78	0.00	171.38	0.00	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+480.000	109.832	109.199	0.63	0.00	146.19	0.00	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+500.000	109.364	108.936	0.43	0.00	120.86	0.05	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+520.000	109.887	109.166	0.72	0.00	135.81	0.05	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+540.000	110.580	109.475	1.11	0.00	192.39	0.00	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00

Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

Tabla A-8-7. Volúmenes en tramo 2, Concreto semi-rígido (Continuación)

SECCIONES DE TN LEVANTADAS EN CAMPO	VOLÚMENES										
	ELEVACIONES		ESPESORES		C	I	SBR	SB	BH	CDA	CA
	TN	SUBRAS ANTE	C	T							
0+560.000	110.386	109.783	0.60	0.00	180.18	0.00	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+569.928	110.409	109.936	0.47	0.00	62.92	0.00	17.87	5.96	5.96	2.98	5.96
0+577.428	110.376	110.052	0.32	0.00	39.66	0.23	13.50	4.50	4.50	2.25	4.50
0+580.000	110.405	110.092	0.31	0.00	11.60	0.31	4.63	1.54	1.54	0.77	1.54
0+584.928	110.441	110.168	0.27	0.00	19.84	1.54	8.87	2.96	2.96	1.48	2.96
0+587.428	110.443	110.206	0.24	0.00	9.08	1.31	4.50	1.50	1.50	0.75	1.50
0+600.000	110.456	110.273	0.18	0.00	41.78	8.94	22.63	7.54	7.54	3.77	7.54
0+620.000	110.492	109.988	0.50	0.00	82.70	11.44	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+631.321	110.434	109.818	0.62	0.00	62.72	1.86	20.38	6.79	6.79	3.40	6.79
0+633.821	110.415	109.781	0.63	0.00	15.14	0.01	4.50	1.50	1.50	0.75	1.50
0+640.000	110.381	109.688	0.69	0.00	40.70	0.00	11.12	3.71	3.71	1.85	3.71
0+641.321	110.376	109.668	0.71	0.00	9.35	0.00	2.38	0.79	0.79	0.40	0.79
0+648.821	110.173	109.556	0.62	0.00	52.10	0.00	13.50	4.50	4.50	2.25	4.50
0+660.000	109.797	109.388	0.41	0.00	64.06	0.00	20.12	6.71	6.71	3.35	6.71
0+680.000	109.435	109.088	0.35	0.00	90.41	1.74	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+700.000	108.773	108.788	0.00	0.02	62.30	6.94	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+720.000	108.877	108.488	0.39	0.00	71.92	5.39	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+722.349	108.778	108.453	0.32	0.00	11.79	0.07	4.23	1.41	1.41	0.70	1.41
0+725.349	108.643	108.408	0.24	0.00	12.82	0.36	5.40	1.80	1.80	0.90	1.80
0+728.349	108.509	108.363	0.15	0.00	10.16	1.06	5.40	1.80	1.80	0.90	1.80
0+729.349	108.454	108.348	0.11	0.00	2.91	0.54	1.80	0.60	0.60	0.30	0.60
0+731.708	108.447	108.312	0.13	0.00	6.98	1.23	4.25	1.42	1.42	0.71	1.42
0+732.708	108.462	108.297	0.16	0.00	3.18	0.41	1.80	0.60	0.60	0.30	0.60
0+735.708	108.506	108.252	0.25	0.00	10.97	0.64	5.40	1.80	1.80	0.90	1.80
0+738.708	108.508	108.207	0.30	0.00	13.06	0.13	5.40	1.80	1.80	0.90	1.80
0+740.000	108.507	108.188	0.32	0.00	6.13	0.03	2.33	0.78	0.78	0.39	0.78
0+760.000	108.290	107.740	0.55	0.00	114.50	0.23	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+780.000	107.252	106.926	0.33	0.00	122.53	0.00	36.00	12.00	12.00	6.00	12.00
0+782.495	107.123	106.823	0.30	0.00	13.91	0.00	4.49	1.50	1.50	0.75	1.50

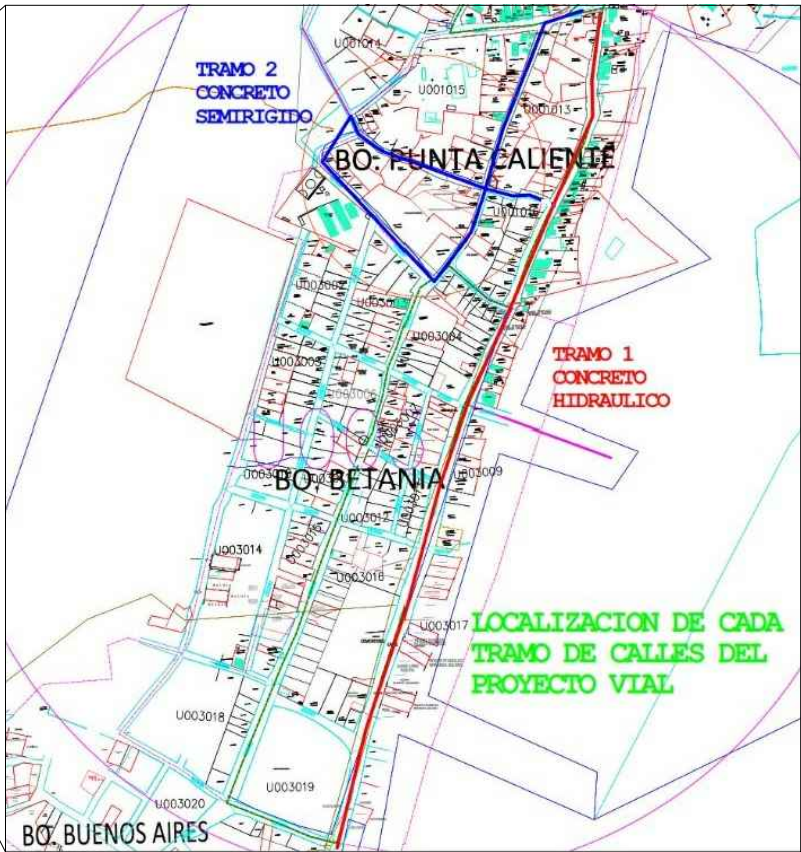
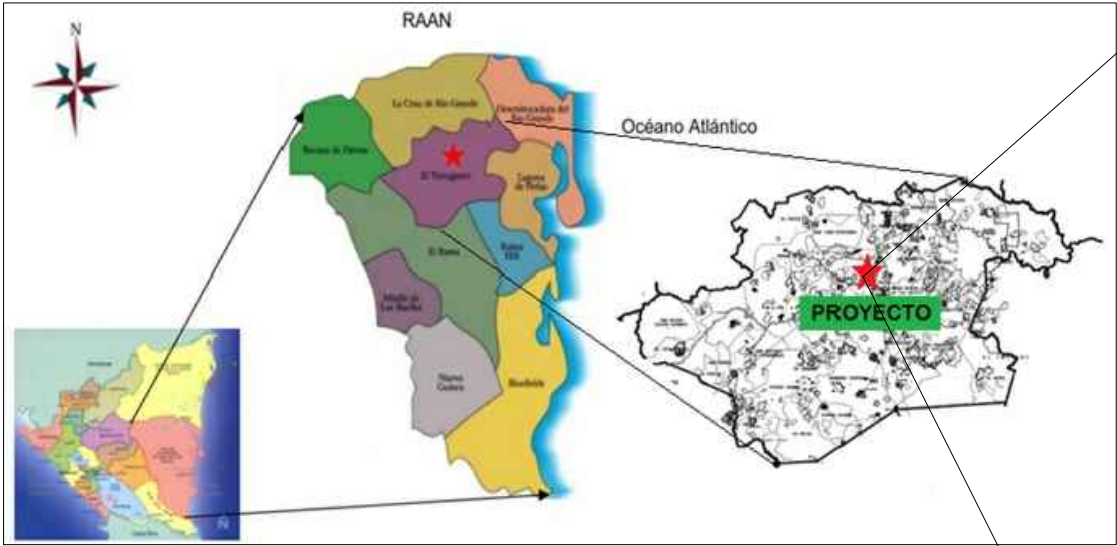
Fuente: *Elaboración propia.* (2016).

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA

UNAN - Managua

Nº	Índice Contenido
1	Portada / Índice
	Tramo de pav. semirrígido
2	Plano de conjunto planimétrico
3	Plano de conjunto altimétrico
4	Planta-Perfil. Est 0+000/460
5	Planta-Perfil. Est 0+240/782.49
6	Sec. transv Est 0+000/160
7	Sec. transv Est 0+180/340
8	Sec. transv Est 0+360/520
9	Sec. transv Est 0+540/700
10	Sec. transv Est 0+720/782.49
	Tramo de pav. rígido
11	Plano de conjunto planimétrico
12	Plano de conjunto altimétrico
13	Planta-Perfil. Est 0+000/560
14	Planta-Perfil. Est 0+520/946.97
15	Sec. transv Est 0+000/160
16	Sec. transv Est 0+180/340
17	Sec. transv Est 0+360/520
18	Sec. transv Est 0+540/700
19	Sec. transv Est 0+720/880
20	Sec. transv Est 0+900/946.97
21	Detalles constructivos
22	Detalles de señalización

Proyecto: Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio de El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S) - Nicaragua.



UNAN

PROYECTO:
Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano dl municipio El Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S)-Niacragua.

Contenido:
Portada / Índice

Elaborado por:
Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

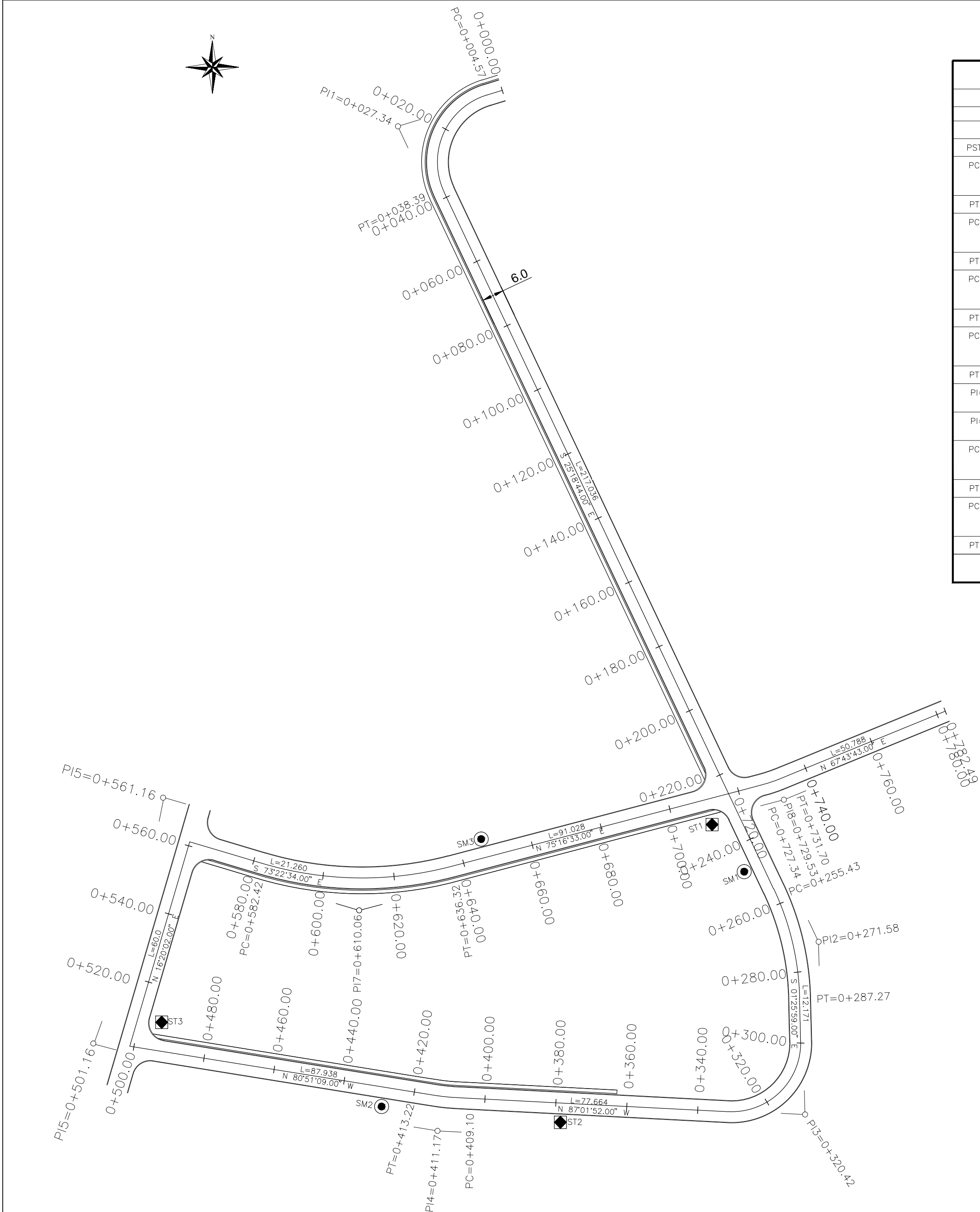
Revisado por:
Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:
Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:
Sin escala

Fecha:
Noviembre 2016

Nº
01/22



CUADRO DE CONSTRUCCION DE EJE						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS	
EST	PV				X	Y
PST=0+000.00	PC=0+004.57	S 72°47'30.00" W	4.570	PC=0+004.57	1,746.9150	962.6964
PC=0+004.57	PT=0+038.39	S 23°44'23.00" W Δ = 98°6'14.00" izq Rc = 19.757	29.845 Lc = 33.829 ST = 22.770	PT=0+038.39 PI1=0+027.34	1,730.5340 1,720.7988	934.0244 954.6080
PT=0+038.39	PC=0+255.43	S 25°18'44.00" E	217.036	PC=0+255.43	1,823.3281	737.8254
PC=0+255.43	PT=0+287.27	S 13°22'21.50" E Δ = 23°52'45.00" der Rc = 76.394	31.609 Lc = 31.839 ST = 16.154	PT=0+287.27 PI2=0+271.58	1,830.6387 1,830.2347	707.0734 723.2223
PT=0+287.27	PC=0+299.44	S 01°25'59.00" E	12.171	PC=0+299.44	1,830.9431	694.9061
PC=0+299.44	PT=0+331.44	S 45°46'04.50" W Δ = 94°24'7.00" der Rc = 19.422	28.502 Lc = 32.001 ST = 20.975	PT=0+331.44 PI3=0+320.42	1,810.5209 1,831.4676	675.0241 673.9378
PT=0+331.44	PC=0+409.10	N 87°01'52.00" W	77.664	PC=0+409.10	1,732.9616	679.0466
PC=0+409.10	PT=0+413.22	N 83°56'30.50" W Δ = 6°10'43.00" der Rc = 38.197	4.117 Lc = 4.119 ST = 2.062	PT=0+413.22 PI4=0+411.17	1,728.8675 1,730.9028	679.4811 679.1534
PT=0+413.22	PI=0+501.16	N 80°51'09.00" W	87.938	PI5=0+501.16	1,642.0474	693.4613
PI=0+501.16	PI=0+561.16	N 16°20'02.00" E Δ = 97°11'11.00" der	60.000	PI6=0+561.16	1,658.9215	751.0396
PI=0+561.16	PC=0+582.42	S 73°22'34.00" E Δ = 90°17'24.00" der	21.260	PC=0+582.42	1,679.2931	744.9573
PC=0+582.42	PT=0+636.32	S 89°03'00.50" E Δ = 31°20'53.00" izq Rc = 98.503	53.224 Lc = 53.894 ST = 27.640	PT=0+636.32 PI7=0+610.06	1,732.5096 1,705.7776	744.0750 737.0499
PT=0+636.32	PC=0+727.34	N 75°16'33.00" E	91.028	PC=0+727.34	1,820.5483	767.2112
PC=0+727.34	PT=0+731.70	N 71°30'08.00" E Δ = 7°32'50.00" izq Rc = 33.087	4.355 Lc = 4.358 ST = 2.182	PT=0+731.70 PI8=0+729.53	1,824.6785 1,822.6590	768.5930 767.7659
PT=0+731.70	PST=0+782.49	N 67°43'43.00" E	50.788	PST=0+782.49	1,871.6774	787.8412
LONGITUD = 782.495m						

DATOS DE CURVAS HORIZONTALES		
C1 (PI1)	C2 (PI2)	C3 (PI3)
Δ = 98°6'14.00" izq ST = 22.770 PI = 0+027.34 Gc = 58°0'0.00" Lc = 33.829 Rc = 19.757 Sc = 4.00% Ac = 0.00 Le entrada = 1.00 Le salida = 23.00	Δ = 23°52'45.00" der ST = 16.154 PI = 0+271.58 Gc = 15°0'0.00" Lc = 31.839 Rc = 76.394 Sc = 4.00% Ac = 0.00 Le entrada = 5.00 Le salida = 5.00	Δ = 94°24'7.00" der ST = 20.975 PI = 0+320.42 Gc = 59°0'0.00" Lc = 32.001 Rc = 19.422 Sc = 4.00% Ac = 0.00 Le entrada = 7.00 Le salida = 16.00
C4 (PI4)	C5 (PI7)	C6 (PI8)
Δ = 6°10'43.00" der ST = 2.062 PI = 0+411.17 Gc = 30°0'0.00" Lc = 4.119 Rc = 38.197 Sc = 4.00% Ac = 0.00 Le entrada = 2.00 Le salida = 4.00	Δ = 31°20'53.00" izq ST = 27.640 PI = 0+610.06 Gc = 11°38'0.00" Lc = 53.894 Rc = 98.503 Sc = 4.00% Ac = 0.00 Le entrada = 10.00 Le salida = 10.00	Δ = 7°32'50.00" izq ST = 2.182 PI = 0+729.53 Gc = 34°38'0.00" Lc = 4.358 Rc = 33.087 Sc = 4.00% Ac = 0.00 Le entrada = 4.00 Le salida = 4.00

SIMBOLOGIA	
	DESCRIPCION
	PI: PUNTO DE INFLEXION
	SM: SONDEO MANUAL
	ST: SEÑALIZACION DE TRANSITO

NOTAS: 1. LA VIA TIENE SECCION CONSTANTE DE 6M, CONSTITUIDO POR 2.7M DE CARRIL Y 0.3M DE CUNETA A CADA LADO.
2. PARA TENER MAYOR CLARIDAD SOBRE LAS SEÑALES DE TRANSITO VER PLANOS DE DETALLES.



PROYECTO:
Tramo de pavimento semirrígido en el casco urbano del municipio EL Tortuguero.

Contenido:
Plano de conjunto planimétrico

Elaborado por:
Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

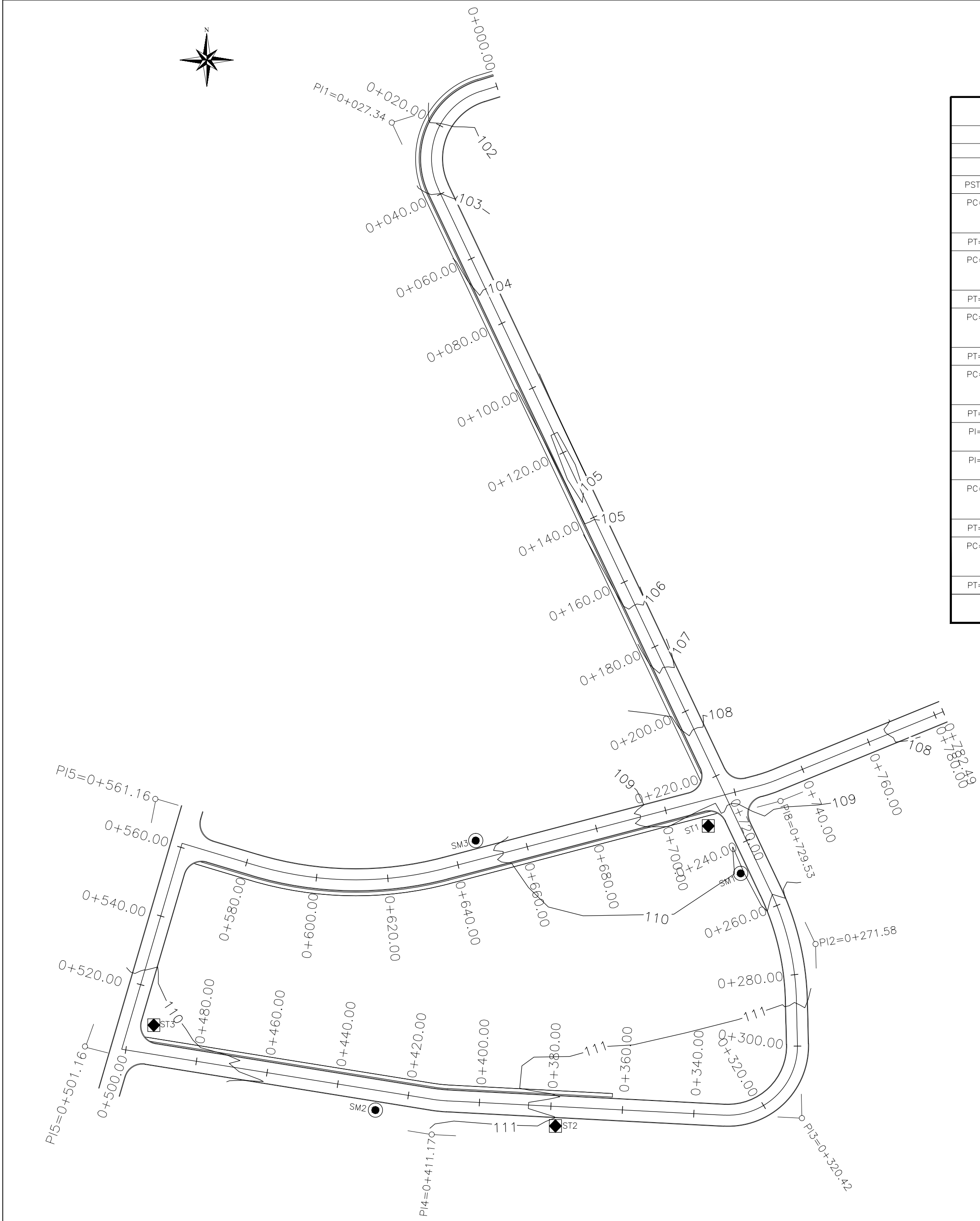
Revisado por:
Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:
Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:
1:900

Fecha:
Noviembre 2016

Nº
02/22



CUADRO DE CONSTRUCCION DE EJE						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS	
EST	PV				X	Y
PST=0+000.00	PC=0+004.57	S 72°47'30.00" W	4.570	PST=0+000.00	1,746.9150	962.6964
PC=0+004.57	PT=0+038.39	S 23°44'23.00" W Δ = 98°6'14.00" izq Rc = 19.757	29.845 Lc = 33.829 ST = 22.770	PT=0+038.39 PI1=0+027.34	1,730.5340 1,720.7988	934.0244 954.6080
PT=0+038.39	PC=0+255.43	S 25°18'44.00" E	217.036	PC=0+255.43	1,823.3281	737.8254
PC=0+255.43	PT=0+287.27	S 13°22'21.50" E Δ = 23°52'45.00" der Rc = 76.394	31.609 Lc = 31.839 ST = 16.154	PT=0+287.27 PI2=0+271.58	1,830.6387 1,830.2347	707.0734 723.2223
PT=0+287.27	PC=0+299.44	S 01°25'59.00" E	12.171	PC=0+299.44	1,830.9431	694.9061
PC=0+299.44	PT=0+331.44	S 45°46'04.50" W Δ = 94°24'7.00" der Rc = 19.422	28.502 Lc = 32.001 ST = 20.975	PT=0+331.44 PI3=0+320.42	1,810.5209 1,831.4676	675.0241 673.9378
PT=0+331.44	PC=0+409.10	N 87°01'52.00" W	77.664	PC=0+409.10	1,732.9616	679.0466
PC=0+409.10	PT=0+413.22	N 83°56'30.50" W Δ = 6°10'43.00" der Rc = 38.197	4.117 Lc = 4.119 ST = 2.062	PT=0+413.22 PI4=0+411.17	1,728.8675 1,730.9028	679.4811 679.1534
PT=0+413.22	PI=0+501.16	N 80°51'09.00" W	87.938	PI5=0+501.16	1,642.0474	693.4613
PI=0+501.16	PI=0+561.16	N 16°20'02.00" E Δ = 97°11'11.00" der	60.000	PI6=0+561.16	1,658.9215	751.0396
PI=0+561.16	PC=0+582.42	S 73°22'34.00" E Δ = 90°17'24.00" der	21.260	PC=0+582.42	1,679.2931	744.9573
PC=0+582.42	PT=0+636.32	S 89°03'00.50" E Δ = 31°20'53.00" izq Rc = 98.503	53.224 Lc = 53.894 ST = 27.640	PT=0+636.32 PI7=0+610.06	1,732.5096 1,705.7776	744.0750 737.0499
PT=0+636.32	PC=0+727.34	N 75°16'33.00" E	91.028	PC=0+727.34	1,820.5483	767.2112
PC=0+727.34	PT=0+731.70	N 71°30'08.00" E Δ = 7°32'50.00" izq Rc = 33.087	4.355 Lc = 4.358 ST = 2.182	PT=0+731.70 PI8=0+729.53	1,824.6785 1,822.6590	768.5930 767.7659
PT=0+731.70	PST=0+782.49	N 67°43'43.00" E	50.788	PST=0+782.49	1,871.6774	787.8412
LONGITUD = 782.495m						

CONSOLIDADO	
	VOLUMEN (M3)
CORTE	4710.22
TERRAPLEN	71.24
SUBRASANTE	1408.49
BASE	469.50
SUBBASE	469.50
CAMA DE ARENA	234.75

SIMBOLOGIA	
	DESCRIPCION
●	SM: SONDEO MANUAL
◆	ST: SE?ALIZACION DE TRANSITO

NOTAS: 1. PARA MAYOR DETALLE DE LOS CANTIDADES DE VOLUMENES
VER LA TABLA A-8-2 EN LOS ANEXOS



UNAN

PROYECTO:
Tramo de pavimento semirrígido en
el casco urbano del municipio EL
Tortuguero.

Contenido:

Plano de conjunto altimétrico

Elaborado por:
Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:
Ing. Adolfo Cordero.

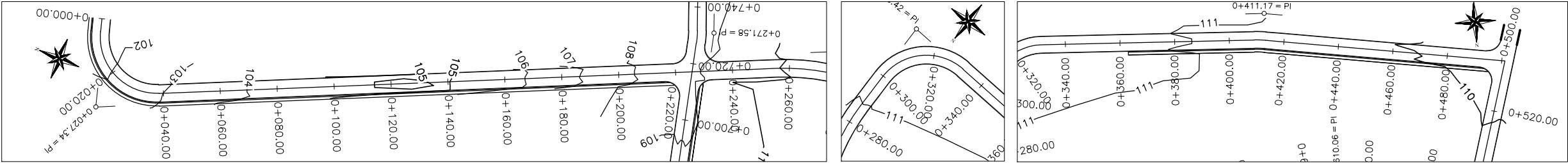
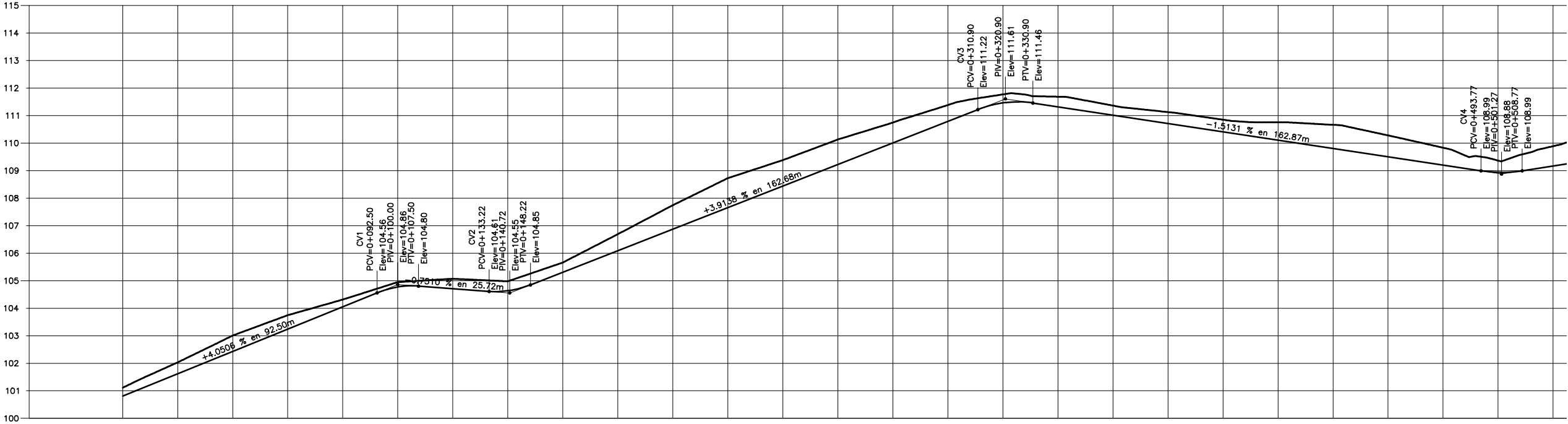
Propietario:
Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:
1:900

Fecha:
Noviembre 2016

Nº
03/22

ELEVACION		ESPESOR	VOLUMEN	
TERRENO	SUBRASANTE		CORTE	TERRAPLEN
0+000.00	101.11	100.81 0.30	0.00	0.00
0+020.00	102.03	101.62 0.41	67.58	4.61
0+040.00	103.01	102.43 0.58	9.53	0.00
0+060.00	103.75	103.24 0.51	92.42	0.00
0+080.00	104.31	104.05 0.26	5.54	0.08
0+100.00	104.95	104.77 0.18	73.08	2.99
0+120.00	105.07	104.71 0.36	78.64	2.75
0+140.00	104.98	104.63 0.35	100.00	0.49
0+160.00	105.66	105.31 0.35	104.95	0.22
0+180.00	106.69	106.09 0.60	114.01	0.06
0+200.00	107.74	106.87 0.87	159.00	0.00
0+220.00	108.73	107.66 1.07	205.12	0.00
0+240.00	109.38	108.44 0.94	219.85	0.00
0+260.00	110.13	109.22 0.91	18.30	0.00
0+280.00	110.75	110.01 0.74	164.38	0.00
0+300.00	111.38	110.79 0.59	3.71	0.00
0+320.00	111.77	111.46 0.31	64.80	1.24
0+340.00	111.69	111.32 0.37	2.45	0.06
0+360.00	111.36	111.02 0.35	37.81	0.91
0+380.00	111.13	110.71 0.41	89.86	2.21
0+400.00	110.85	110.41 0.44	93.70	1.73
0+420.00	110.75	110.11 0.65	11.62	0.00
0+440.00	110.66	109.80 0.86	157.27	0.00
0+460.00	110.28	109.50 0.78	171.38	0.00
0+480.00	109.83	109.20 0.63	146.19	0.00
0+500.00	109.36	108.94 0.43	120.86	0.05
0+520.00	109.89	109.17 0.72	135.81	0.05



UNAN

PROYECTO:

Tramo de pavimento semirrígido en el casco urbano del municipio EL Tortuguero.

Contenido:

Planta-Perfil
Est 0+000 - Est 0+520

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

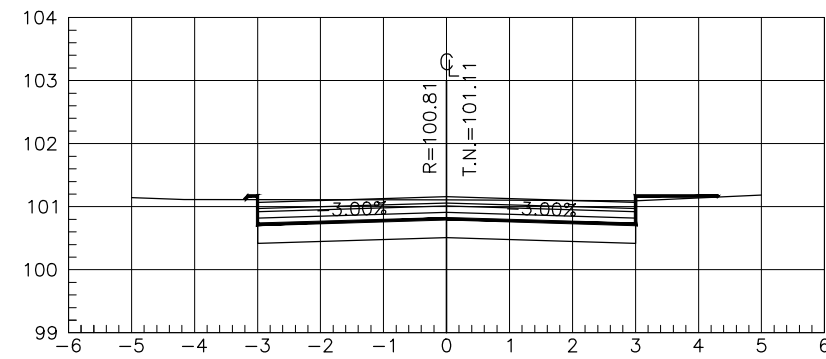
Horizontal 1:1700
Vertical 1:170

Fecha:

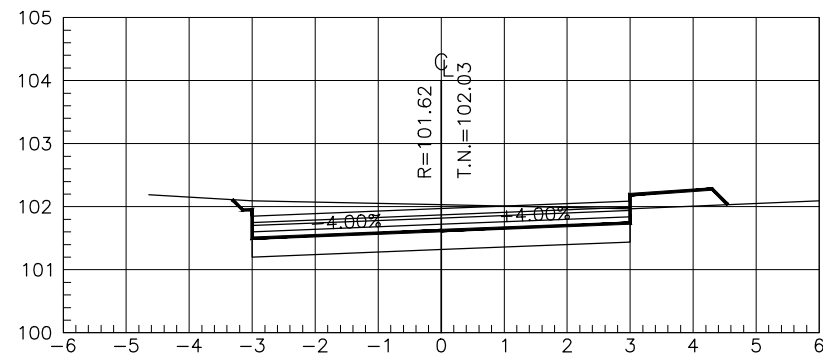
Noviembre 2016

Nº

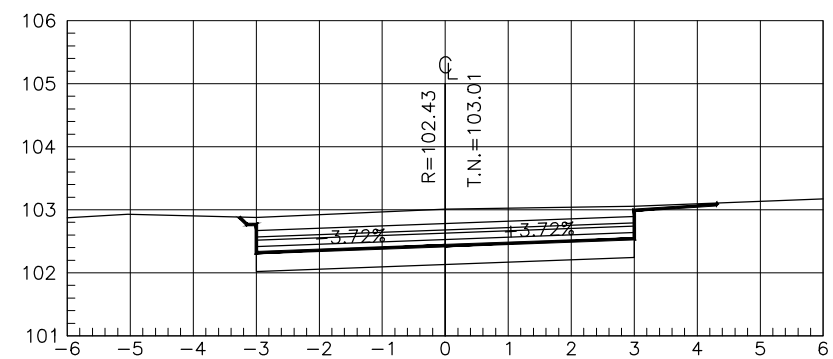
04/22



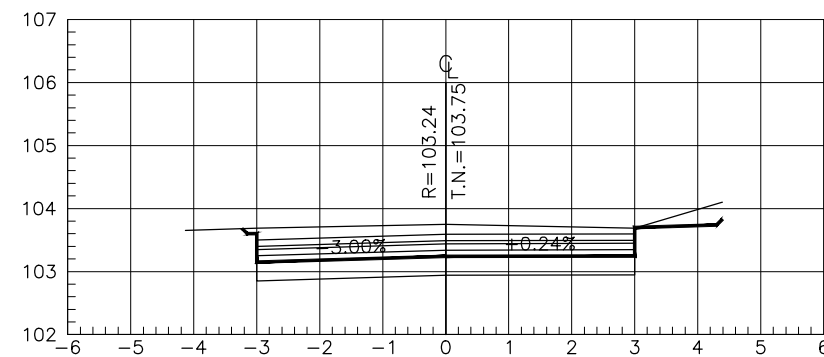
ESTACION 0+000.00



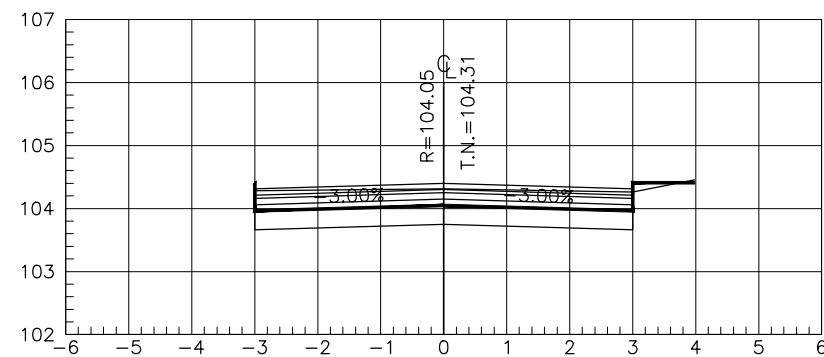
ESTACION 0+020.00



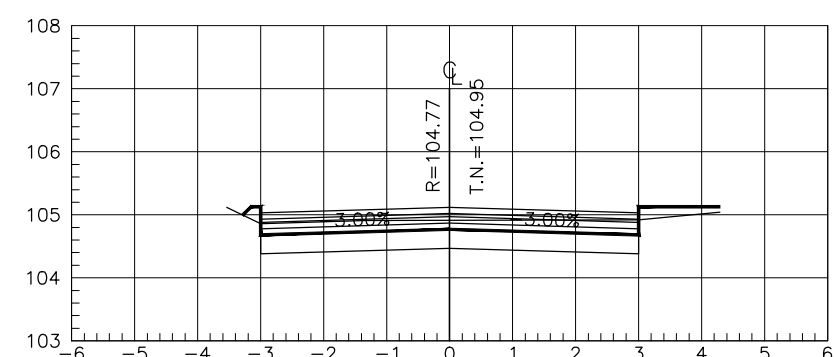
ESTACION 0+040.00



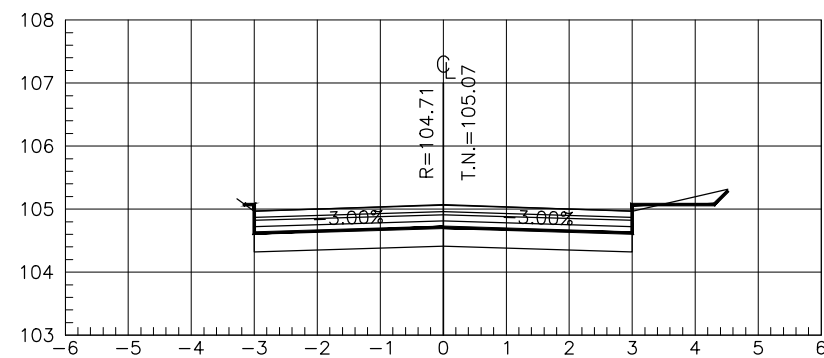
ESTACION 0+060.00



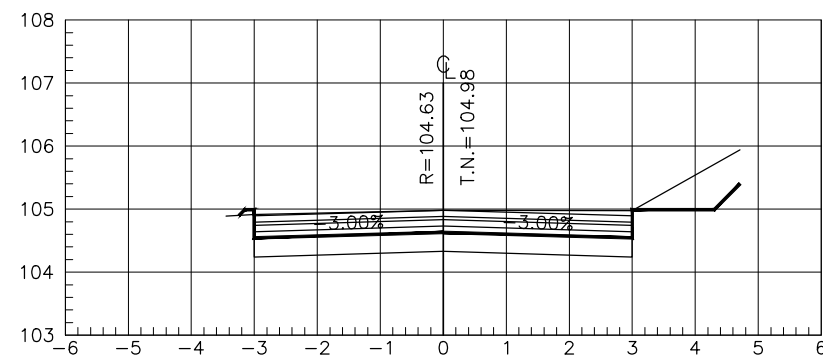
ESTACION 0+080.00



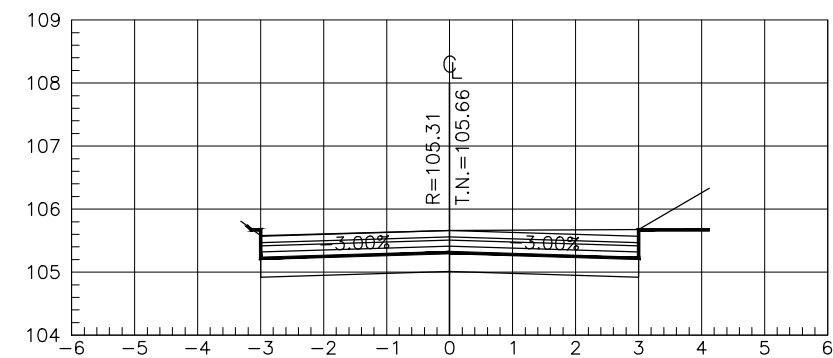
ESTACION 0+100.00



ESTACION 0+120.00



ESTACION 0+140.00



ESTACION 0+160.00



UNAN

PROYECTO:

Tramo de pavimento semirrígido en el casco urbano del municipio EL Tortuguero.

Contenido:

Secciones transversales
Est 0+000 - Est 0+160

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

1:120

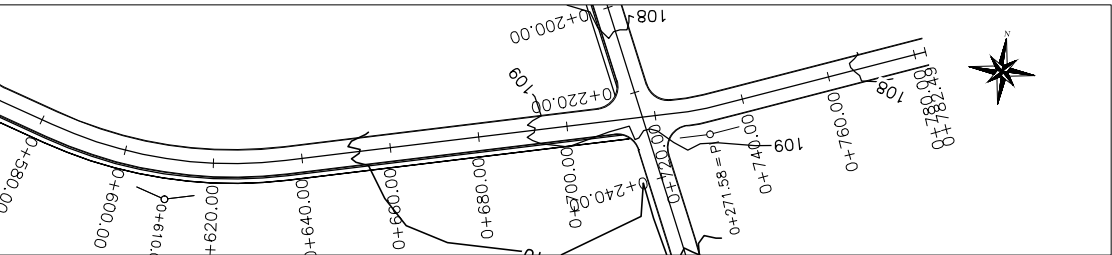
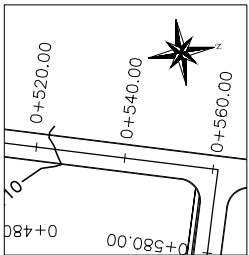
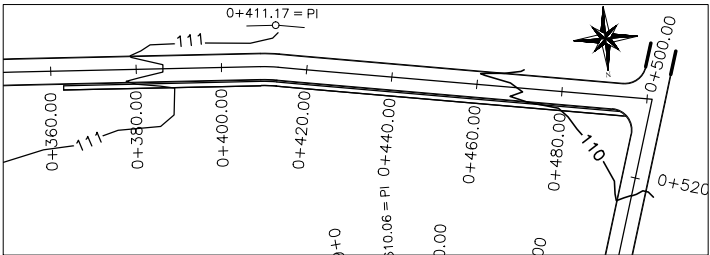
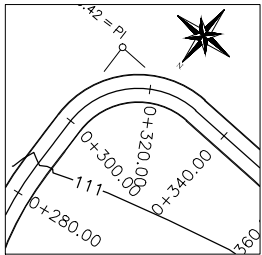
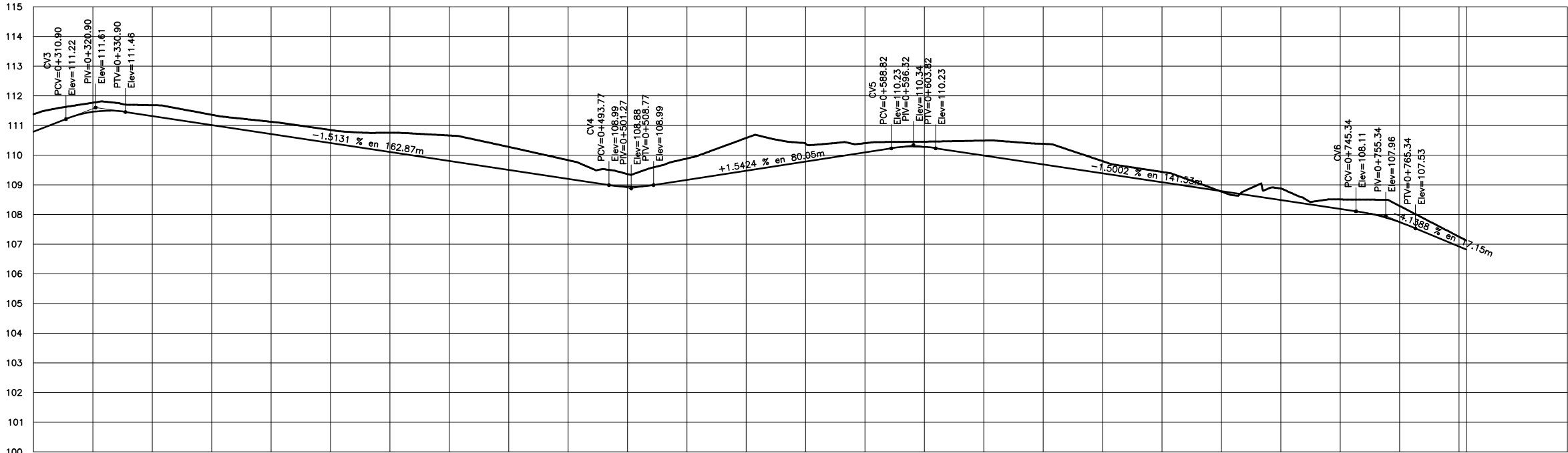
Fecha:

Noviembre 2016

Nº

06/22

ELEVACION		ESPAÑOL		VOLUMEN	
TERRENO	SUBRASANTE	CORTE	TERRAPLEN	CORTE	TERRAPLEN
0+300.00	111.38	110.79	0.59	3.71	0.00
0+320.00	111.77	111.46	0.31	64.80	1.24
0+340.00	111.69	111.32	0.37	2.45	0.06
0+360.00	111.36	111.02	0.35	37.81	0.91
0+380.00	111.13	110.71	0.41	89.86	2.21
0+400.00	110.85	110.41	0.44	93.70	1.73
0+420.00	110.75	110.11	0.65	11.82	0.00
0+440.00	110.66	109.80	0.86	157.27	0.00
0+460.00	110.28	109.50	0.78	171.36	0.00
0+480.00	109.83	109.20	0.63	146.19	0.00
0+500.00	109.36	108.94	0.43	120.86	0.05
0+520.00	109.89	109.17	0.72	135.81	0.05
0+540.00	110.58	109.47	1.11	192.39	0.00
0+560.00	110.39	109.78	0.60	180.18	0.00
0+580.00	110.40	110.09	0.31	11.60	0.31
0+600.00	110.46	110.27	0.18	41.78	8.94
0+620.00	110.49	109.99	0.50	82.70	11.44
0+640.00	110.38	109.69	0.69	40.70	0.00
0+660.00	109.80	108.89	0.41	64.06	0.00
0+680.00	109.44	108.09	0.35	90.41	1.74
0+700.00	108.77	107.79	0.02	62.30	6.94
0+720.00	108.88	107.49	0.39	71.92	5.39
0+740.00	108.51	107.29	0.32	6.13	0.03
0+760.00	108.29	107.74	0.55	114.50	0.23
0+780.00	107.25	106.93	0.33	122.53	0.00
0+782.49	107.12	106.82	0.30	13.91	0.00



UNAN

PROYECTO:

Tramo de pavimento semirrígido en el casco urbano del municipio EL Tortuguero.

Contenido:

Planta-Perfil
Est 0+300 - Est 0+782.49

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

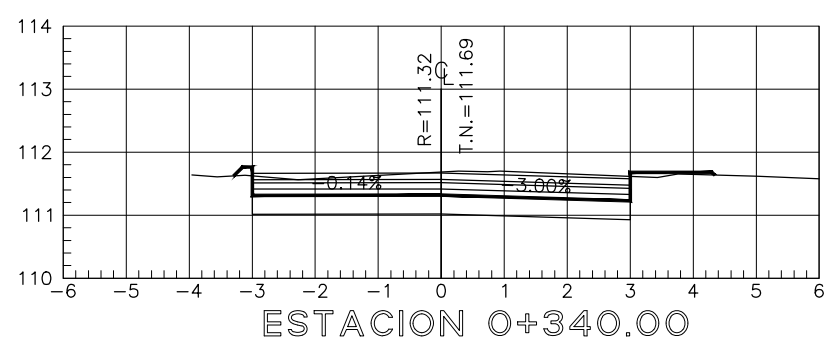
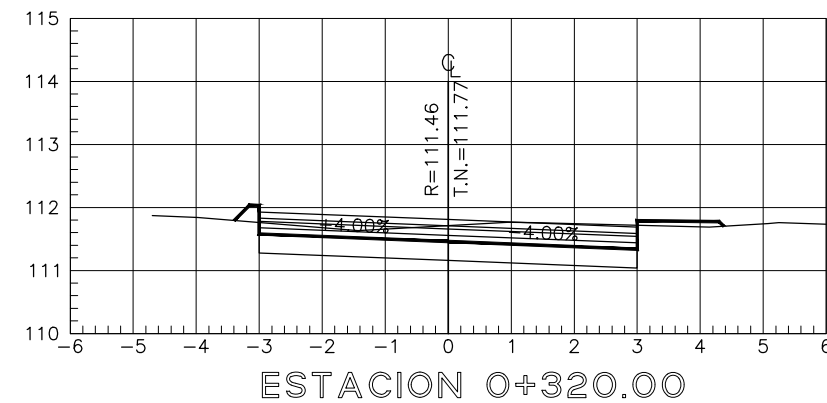
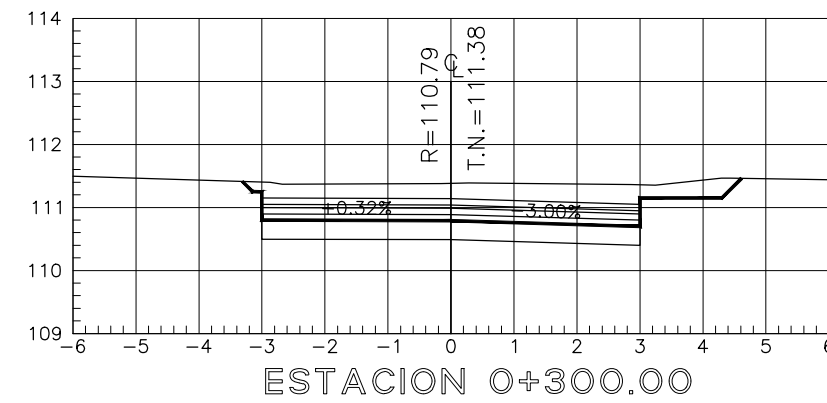
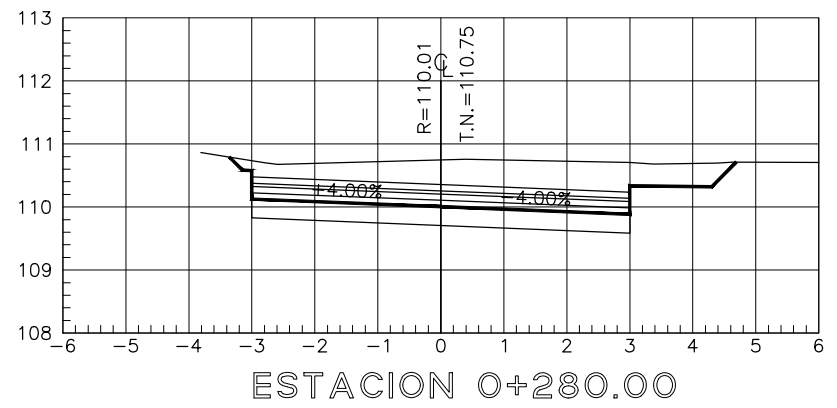
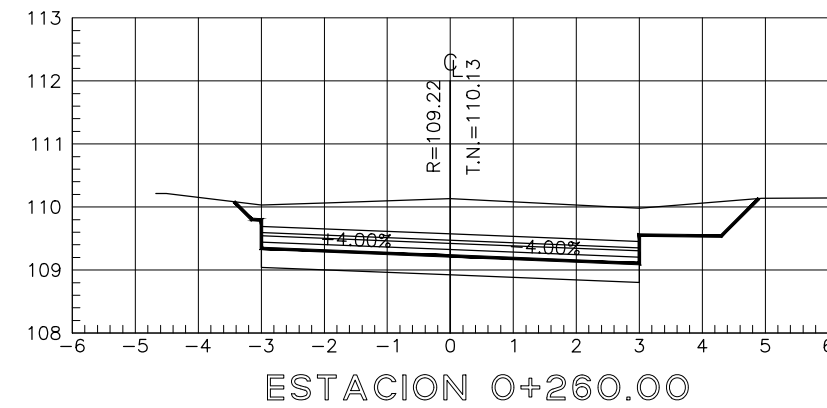
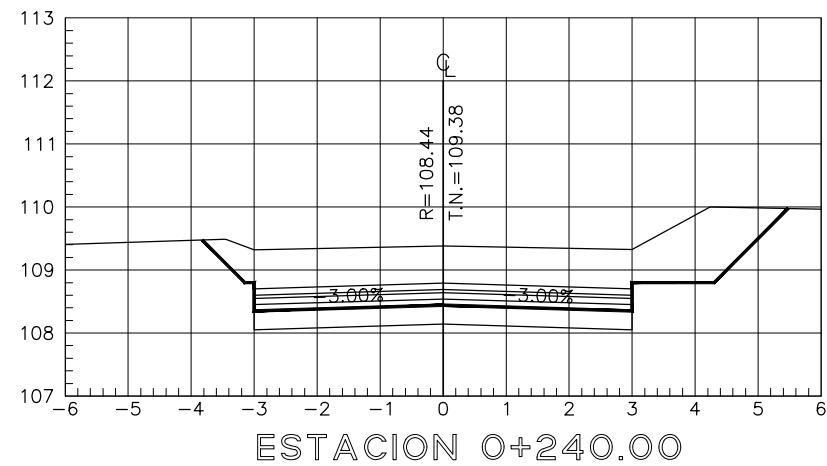
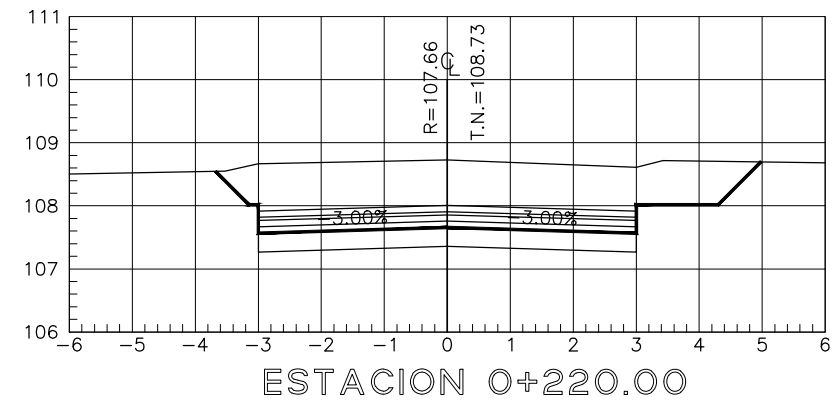
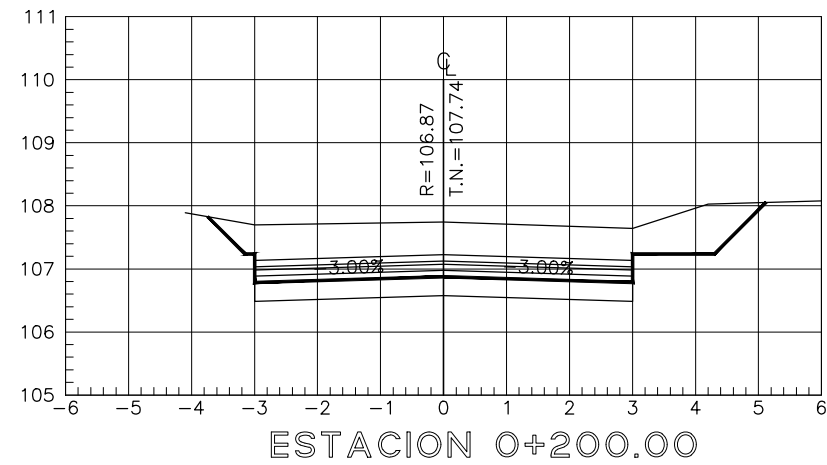
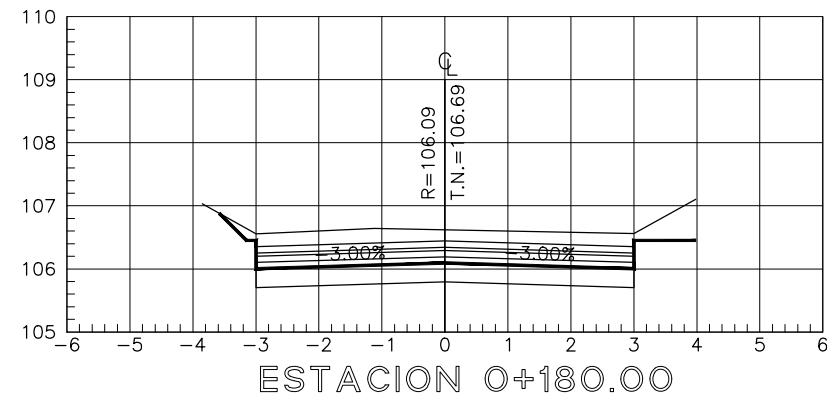
Horizontal 1:1700
Vertical 1:170

Fecha:

Noviembre 2016

Nº

05/22



UNAN

PROYECTO:

Tramo de pavimento semirrígido en el casco urbano del municipio EL Tortuguero.

Contenido:

Secciones transversales
Est 0+180 - Est 0+340

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

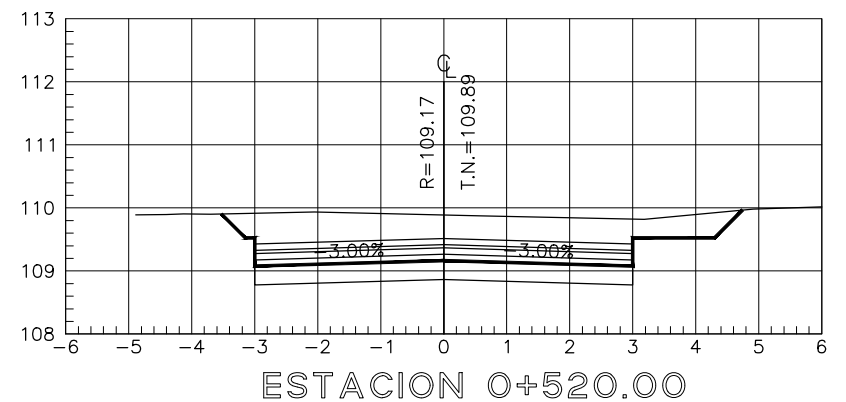
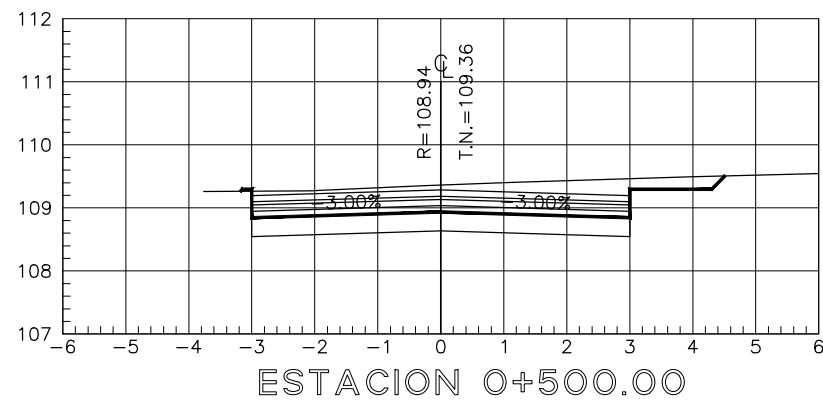
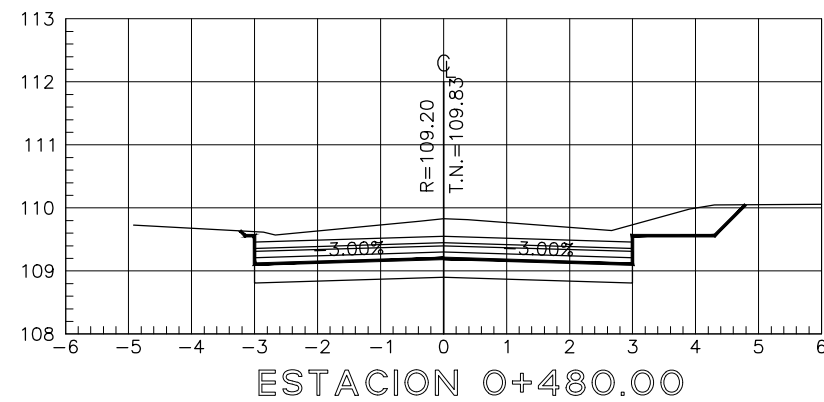
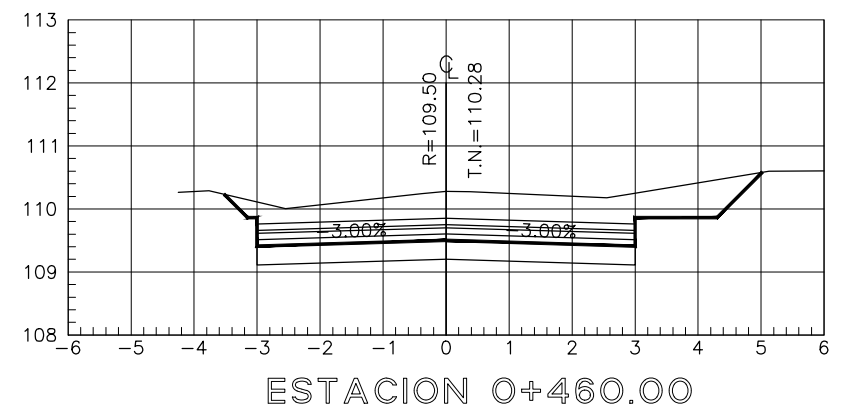
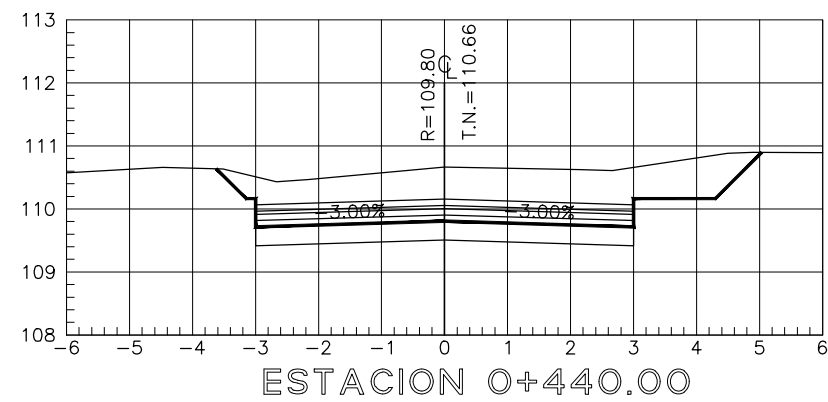
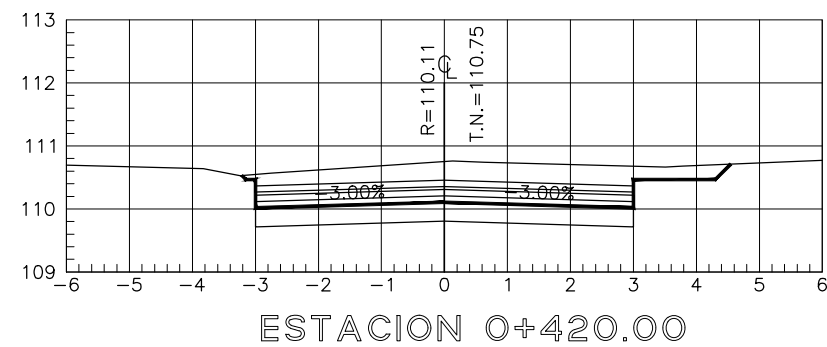
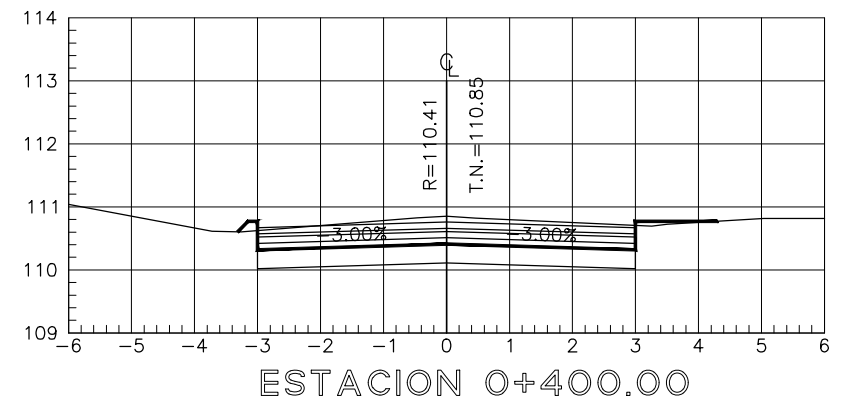
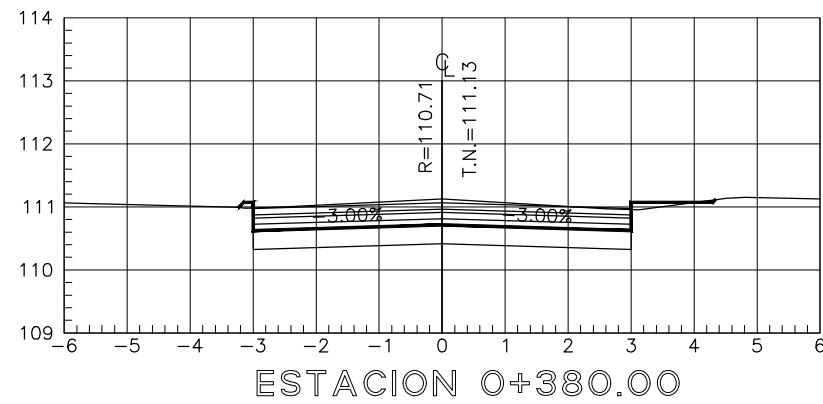
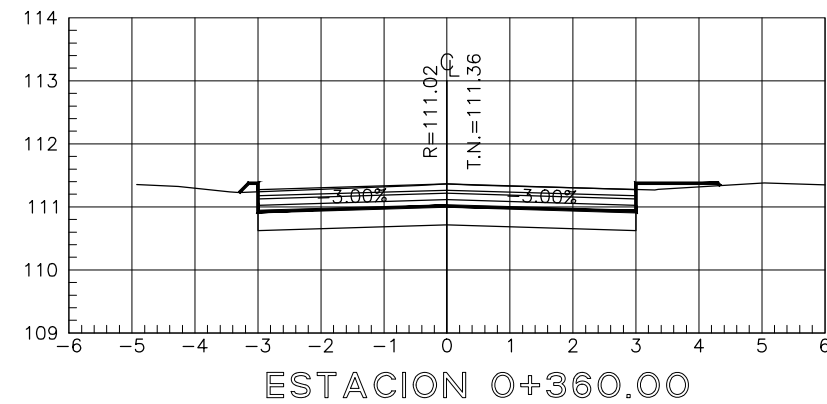
1:120

Fecha:

Noviembre 2016

Nº

07/22



UNAN

PROYECTO:

Tramo de pavimento semirrígido en el casco urbano del municipio EL Tortuguero.

Contenido:

Secciones transversales
Est 0+360 - Est 0+520

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

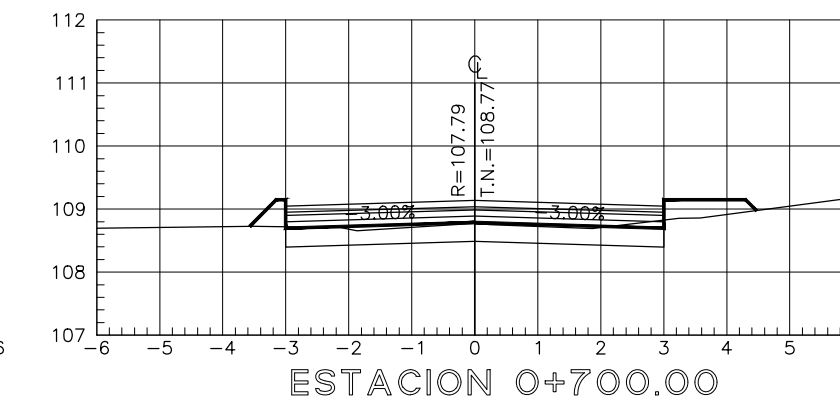
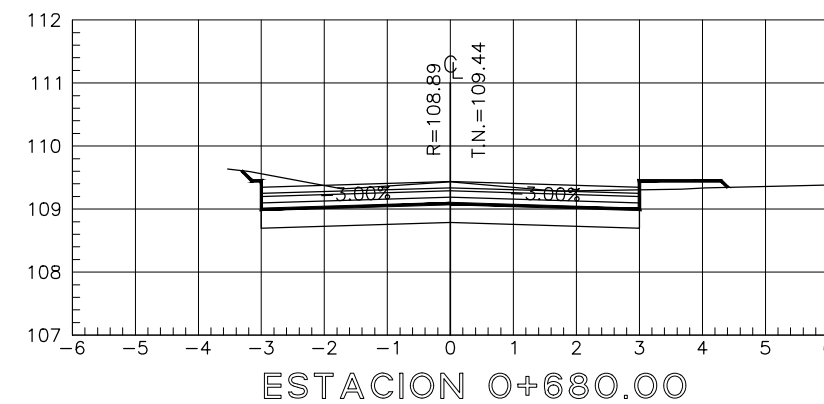
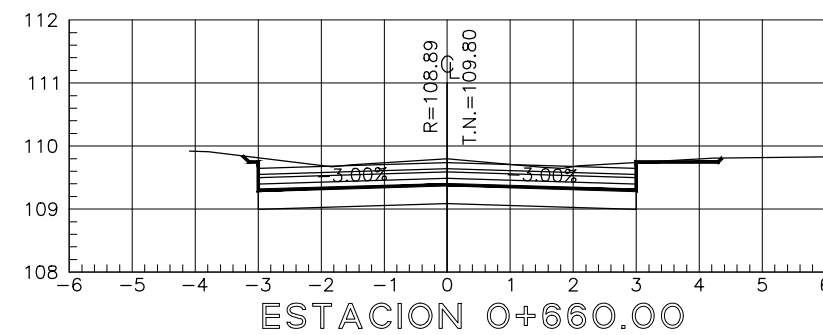
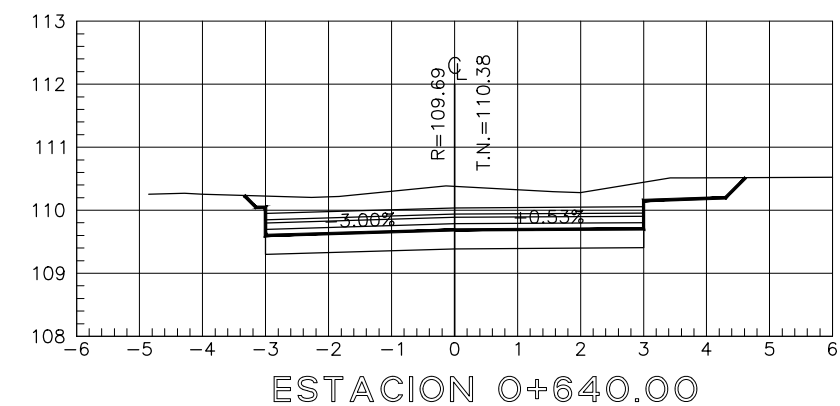
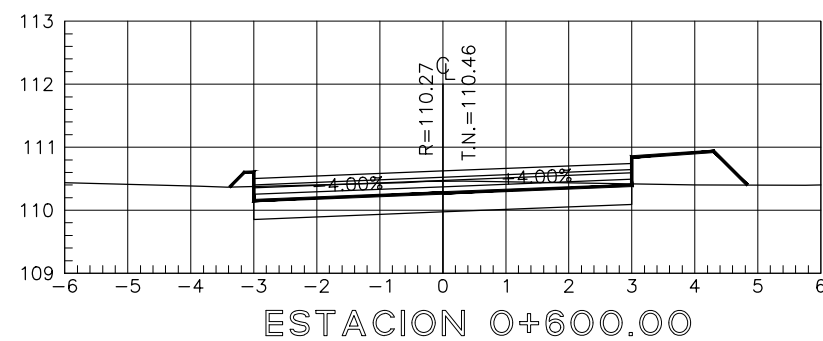
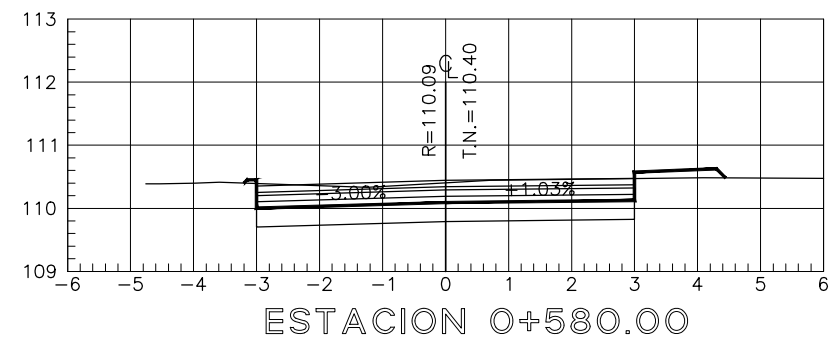
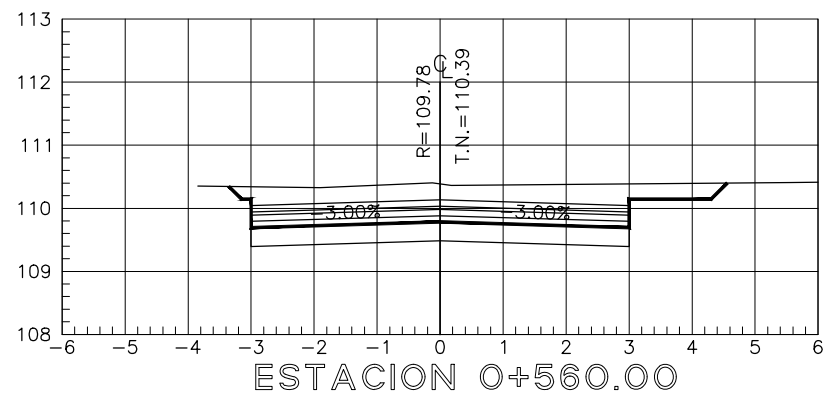
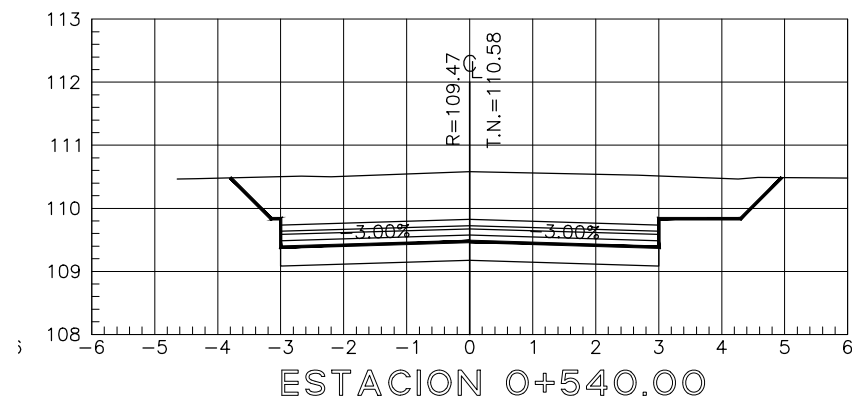
1:120

Fecha:

Noviembre 2016

Nº

08/22



UNAN

PROYECTO:

Tramo de pavimento semirrígido en el casco urbano del municipio EL Tortuguero.

Contenido:

Secciones transversales
Est 0+540 - Est 0+700

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

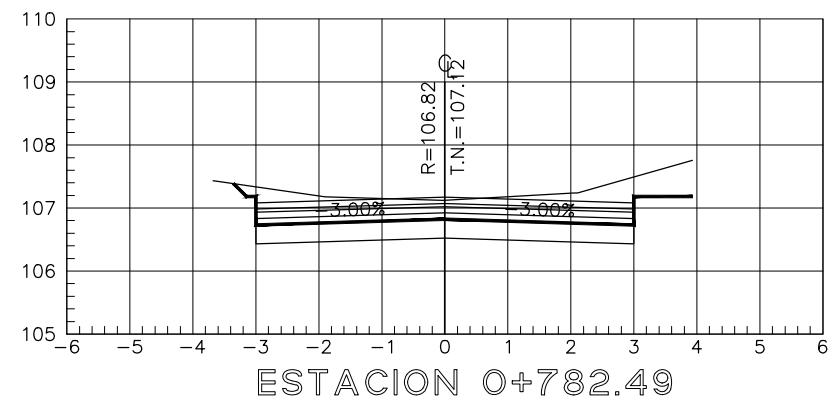
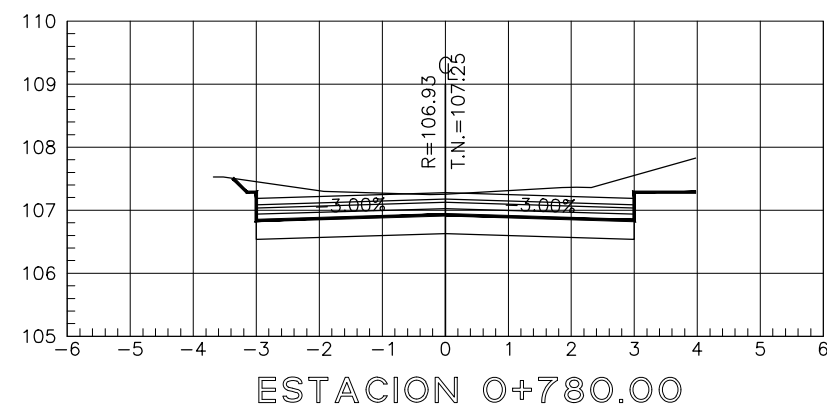
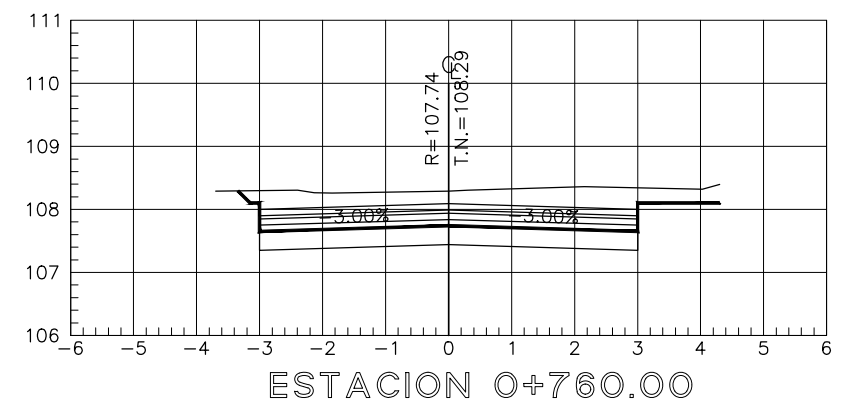
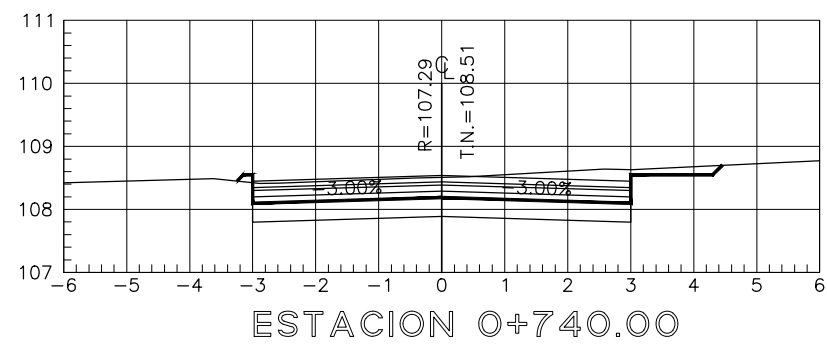
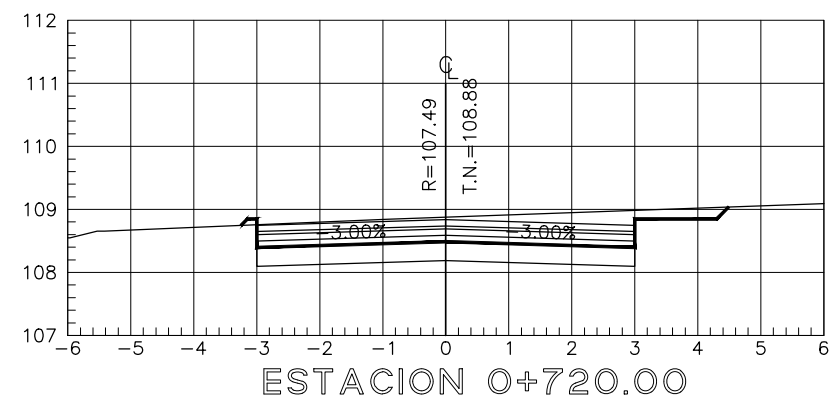
1:120

Fecha:

Noviembre 2016

Nº

09/22



UNAN

PROYECTO:

Tramo de pavimento semirrígido en el casco urbano del municipio EL Tortuguero.

Contenido:

Secciones transversales
Est 0+720 - Est 0+782.49

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

1:120

Fecha:

Noviembre 2016

Nº

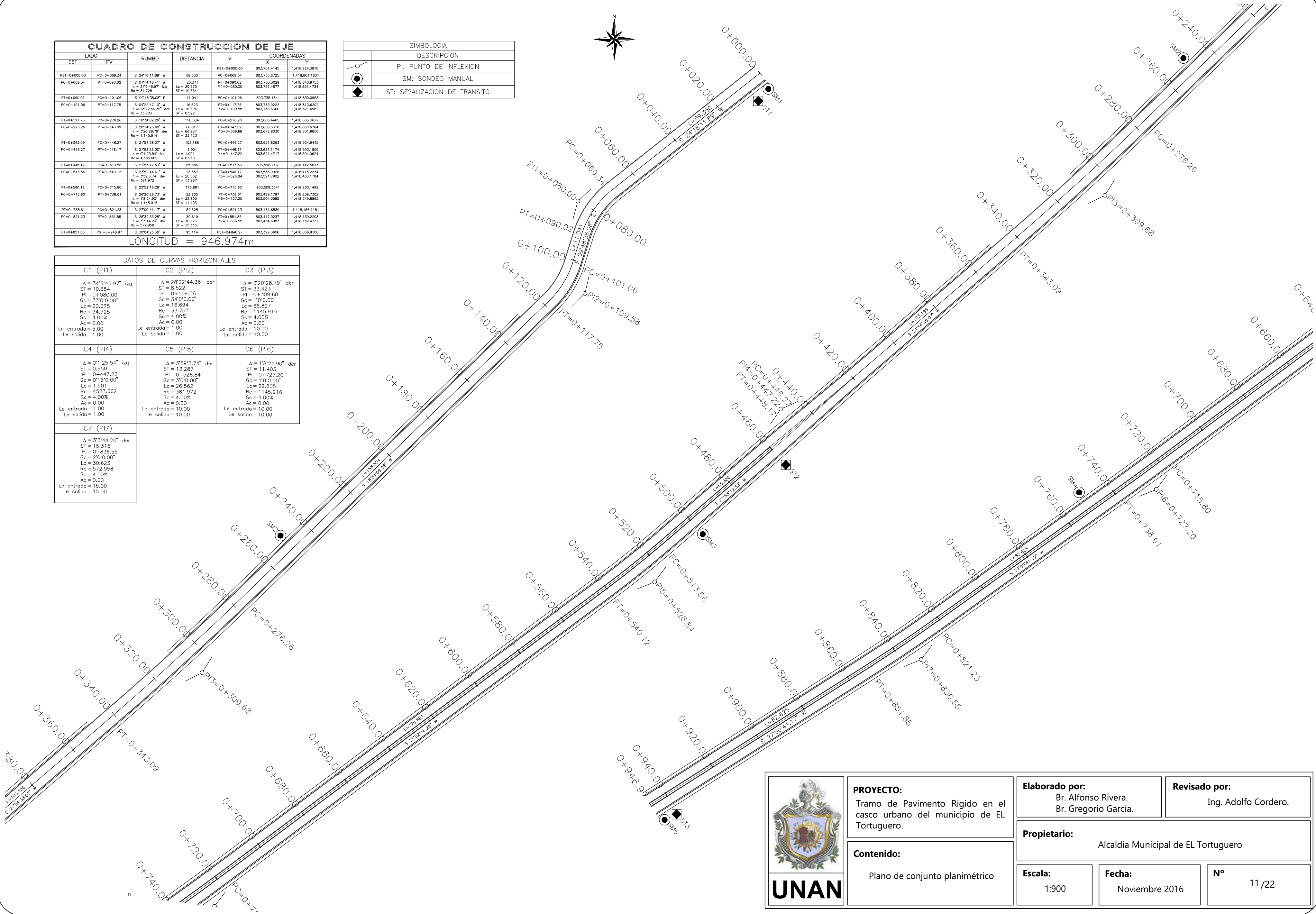
10/22

CUADRO DE CONSTRUCCION DE EJE						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS	
EST	PV				X	Y
PST=0+000.00	PC=0+069.34	S 24°18'11.88" W	69.350	PST=0+000.00	803.764.4145	1,418.924.3870
PC=0+069.34	PT=0+090.02	S 07°14'48.41" W	20.675	PT=0+090.02	803.735.8725	1,418.861.1831
PT=0+090.02	PC=0+101.06	S 34°0'46.97" izq	10.654	PC=0+101.06	803.731.4877	1,418.851.4734
PC=0+101.06	PT=0+117.75	S 09°48'35.08" E	11.041	PT=0+117.75	803.735.1841	1,418.830.0983
PT=0+117.75	PC=0+127.26	S 04°22'42.10" W	16.923	PC=0+127.26	803.733.9222	1,418.813.6202
PC=0+127.26	PT=0+144.17	S 28°22'44.36" der	16.694	PT=0+144.17	803.736.6360	1,418.821.6982
PT=0+144.17	PC=0+175.80	S 18°34'09.28" W	128.504	PC=0+175.80	803.682.4465	1,418.663.3677
PC=0+175.80	PT=0+215.80	S 20°14'33.68" W	66.817	PT=0+215.80	803.680.3310	1,418.600.6764
PT=0+215.80	PC=0+246.27	S 01°25'24.34" izq	66.827	PC=0+246.27	803.672.8030	1,418.631.6850
PC=0+246.27	PT=0+276.26	S 21°54'38.07" W	103.186	PT=0+276.26	803.621.8263	1,418.504.9442
PT=0+276.26	PC=0+309.68	S 21°53'55.30" W	1.901	PC=0+309.68	803.621.1174	1,418.503.1805
PC=0+309.68	PT=0+343.09	S 01°25'24.34" izq	1.901	PT=0+343.09	803.621.4717	1,418.504.0624
PT=0+343.09	PC=0+373.61	S 21°53'12.53" W	65.386	PC=0+373.61	803.596.7431	1,418.442.5073
PC=0+373.61	PT=0+409.02	S 27°52'44.41" W	26.557	PT=0+409.02	803.585.9926	1,418.418.2234
PT=0+409.02	PC=0+448.17	S 35°59'3.74" der	26.562	PC=0+448.17	803.591.7902	1,418.430.1784
PC=0+448.17	PT=0+481.85	S 25°52'16.28" W	175.681	PT=0+481.85	803.509.3341	1,418.260.1492
PT=0+481.85	PC=0+513.56	S 28°26'28.73" W	22.805	PC=0+513.56	803.499.1797	1,418.239.7302
PC=0+513.56	PT=0+540.12	S 01°25'24.34" izq	22.805	PT=0+540.12	803.504.3585	1,418.249.8892
PT=0+540.12	PC=0+571.80	S 27°00'41.17" W	82.625	PC=0+571.80	803.461.6539	1,418.166.1181
PC=0+571.80	PT=0+604.97	S 28°32'33.28" W	30.619	PT=0+604.97	803.447.0237	1,418.139.2203
PT=0+604.97	PC=0+636.55	S 01°25'24.34" izq	30.623	PC=0+636.55	803.454.6983	1,418.152.4737
PC=0+636.55	PT=0+666.00	S 30°04'25.38" W	95.114	PT=0+666.00	803.399.3406	1,418.056.9100

LONGITUD = 946.974m

DATOS DE CURVAS HORIZONTALES		
C1 (PI1)	C2 (PI2)	C3 (PI3)
A = 34°6'46.97" izq ST = 10.654 PI = 0+080.00 Gc = 33°0'0.00" Lc = 20.675 Rc = 34.725 Sc = 4.00% Ac = 0.00 Le entrada = 5.00 Le salida = 1.00	A = 28°22'44.36" der ST = 8.522 PI = 0+109.58 Gc = 34°0'0.00" Lc = 16.694 Rc = 33.703 Sc = 4.00% Ac = 0.00 Le entrada = 1.00 Le salida = 1.00	A = 3°20'28.79" der ST = 33.423 PI = 0+309.68 Gc = 1°0'0.00" Lc = 66.827 Rc = 1145.916 Sc = 4.00% Ac = 0.00 Le entrada = 10.00 Le salida = 10.00
C4 (PI4)	C5 (PI5)	C6 (PI6)
A = 0°1'25.54" izq ST = 0.950 PI = 0+447.22 Gc = 0°15'0.00" Lc = 1.901 Rc = 4563.662 Sc = 4.00% Ac = 0.00 Le entrada = 1.00 Le salida = 1.00	A = 3°59'3.74" der ST = 13.287 PI = 0+526.84 Gc = 3°0'0.00" Lc = 26.562 Rc = 381.972 Sc = 4.00% Ac = 0.00 Le entrada = 10.00 Le salida = 10.00	A = 1°8'24.90" der ST = 11.403 PI = 0+727.20 Gc = 1°0'0.00" Lc = 22.805 Rc = 1145.916 Sc = 4.00% Ac = 0.00 Le entrada = 10.00 Le salida = 10.00
C7 (PI7)		
A = 3°3'44.20" der ST = 15.315 PI = 0+836.55 Gc = 2°0'0.00" Lc = 30.623 Rc = 572.958 Sc = 4.00% Ac = 0.00 Le entrada = 15.00 Le salida = 15.00		

SIMBOLOGIA	
	DESCRIPCION
	PI: PUNTO DE INFLEXION
	SM: SONDEO MANUAL
	ST: SE?ALIZACION DE TRANSITO



PROYECTO:
Tramo de Pavimento Rígido en el casco urbano del municipio de EL Tortuguero.

Contenido:
Plano de conjunto planimétrico

Elaborado por:
Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:
Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:
Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:
1:900

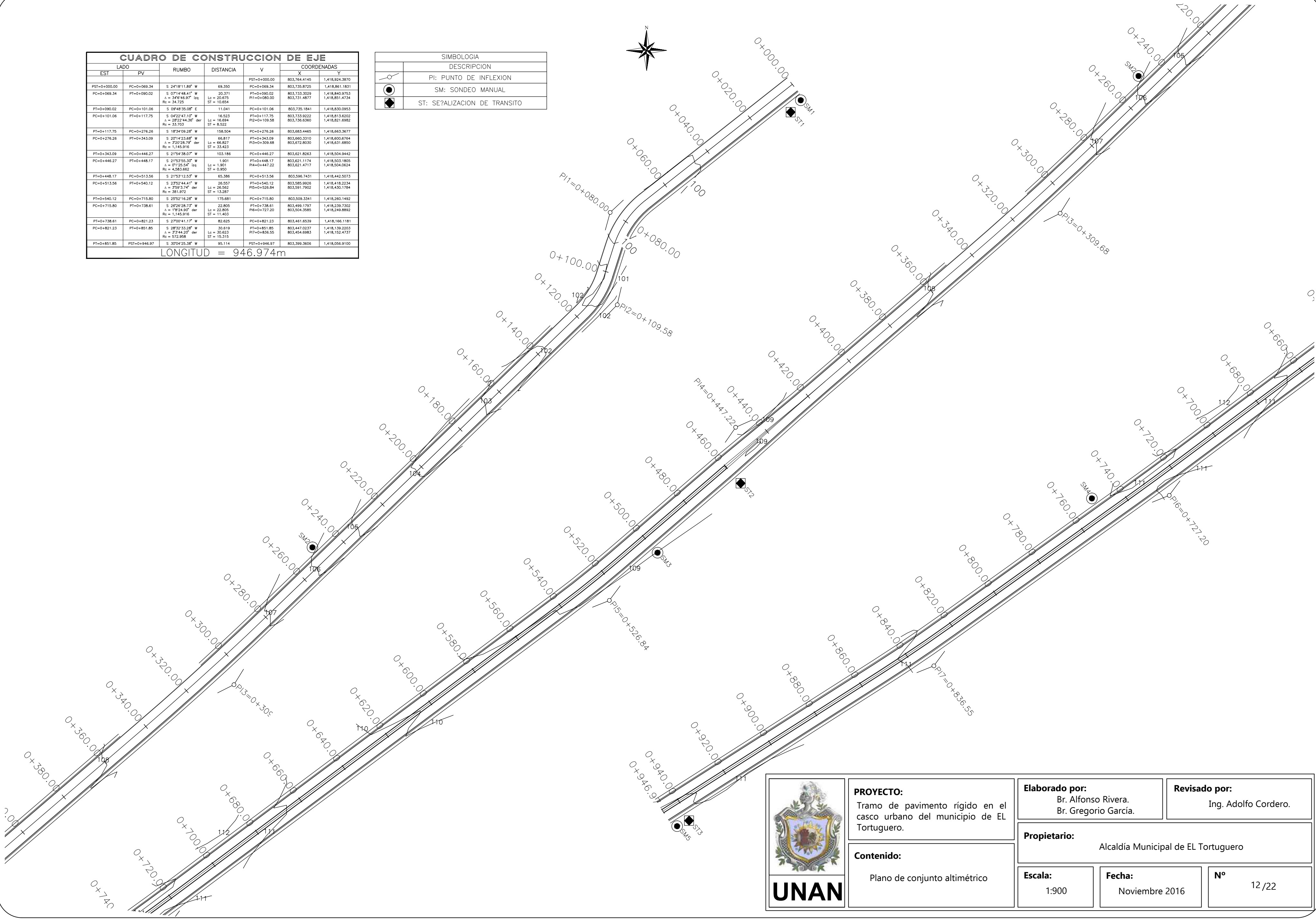
Fecha:
Noviembre 2016


Nº
11 /22

CUADRO DE CONSTRUCCION DE EJE						
EST	LADO	PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS
						X Y
PST=0+000.00	PC=0+069.34		S 24°18'11.88" W	69.350	PC=0+069.34	803,756.8725 1,418,824.3870
PC=0+069.34	PT=0+090.02		S 07°14'48.41" W	20.371	PT=0+090.02	803,733.3029 1,418,840.9753
			$\Delta = 34°04'46.97"$ izq	Lc = 20.875	PI1=0+080.00	803,751.4877 1,418,851.4754
			Rc = 34.725	ST = 10.654		
PT=0+090.02	PC=0+101.06		S 08°48'35.08" E	11.041	PC=0+101.06	803,735.1841 1,418,830.0953
PC=0+101.06	PT=0+117.75		S 04°22'47.10" W	16.523	PT=0+117.75	803,733.9322 1,418,813.6202
			$\Delta = 28°22'44.30"$ der	Lc = 16.684	PI2=0+109.58	803,756.5360 1,418,851.5982
			Rc = 33.703	ST = 8.522		
PT=0+117.75	PC=0+276.26		S 18°34'09.28" W	158.504	PC=0+276.26	803,683.4465 1,418,663.3677
PC=0+276.26	PT=0+343.09		S 20°14'23.68" W	66.817	PT=0+343.09	803,660.3310 1,418,600.6764
			$\Delta = 32°02'28.79"$ der	Lc = 66.827	PI3=0+309.68	803,612.8035 1,418,651.6850
			Rc = 1,145.916	ST = 33.423		
PT=0+343.09	PC=0+446.27		S 21°54'38.07" W	103.186	PC=0+446.27	803,621.8263 1,418,504.9442
PC=0+446.27	PT=0+448.17		S 21°53'55.30" W	1.901	PT=0+448.17	803,621.1174 1,418,503.1805
			$\Delta = 01°25.54"$ izq	Lc = 1.901	PI4=0+447.22	803,621.4717 1,418,504.0624
			Rc = 4,583.662	ST = 0.950		
PT=0+448.17	PC=0+513.56		S 21°53'12.53" W	65.388	PC=0+513.56	803,596.7431 1,418,442.5073
PC=0+513.56	PT=0+540.12		S 27°52'44.41" W	26.557	PT=0+540.12	803,585.9926 1,418,418.2334
			$\Delta = 3°59'3.74"$ der	Lc = 26.562	PI5=0+526.84	803,591.7902 1,418,430.1784
			Rc = 391.972	ST = 13.297		
PT=0+540.12	PC=0+715.80		S 22°52'16.28" W	175.681	PC=0+715.80	803,509.3341 1,418,260.1492
PC=0+715.80	PT=0+738.61		S 28°26'28.73" W	22.805	PT=0+738.61	803,499.1797 1,418,239.7302
			$\Delta = 1°02'4.90"$ der	Lc = 22.805	PI6=0+727.20	803,504.3585 1,418,249.8892
			Rc = 1,145.916	ST = 11.403		
PT=0+738.61	PC=0+821.23		S 27°00'41.17" W	82.625	PC=0+821.23	803,461.6539 1,418,166.1181
PC=0+821.23	PT=0+851.85		S 28°32'33.28" W	30.619	PT=0+851.85	803,447.0237 1,418,139.2203
			$\Delta = 37°44.20"$ der	Lc = 30.623	PI7=0+836.55	803,454.6983 1,418,152.4737
			Rc = 572.808	ST = 15.315		
PT=0+851.85	PST=0+946.97		S 30°04'25.38" W	95.114	PST=0+946.97	803,399.3606 1,418,056.9100

LONGITUD = 946.974m

SIMBOLOGIA	
	DESCRIPCION
	PI: PUNTO DE INFLEXION
	SM: SONDEO MANUAL
	ST: SE?ALIZACION DE TRANSITO





PROYECTO:
Tramo de pavimento rígido en el casco urbano del municipio de EL Tortuguero.

Contenido:
Plano de conjunto altimétrico

Elaborado por:
Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Propietario:
Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:
1:900

Revisado por:
Ing. Adolfo Cordero.

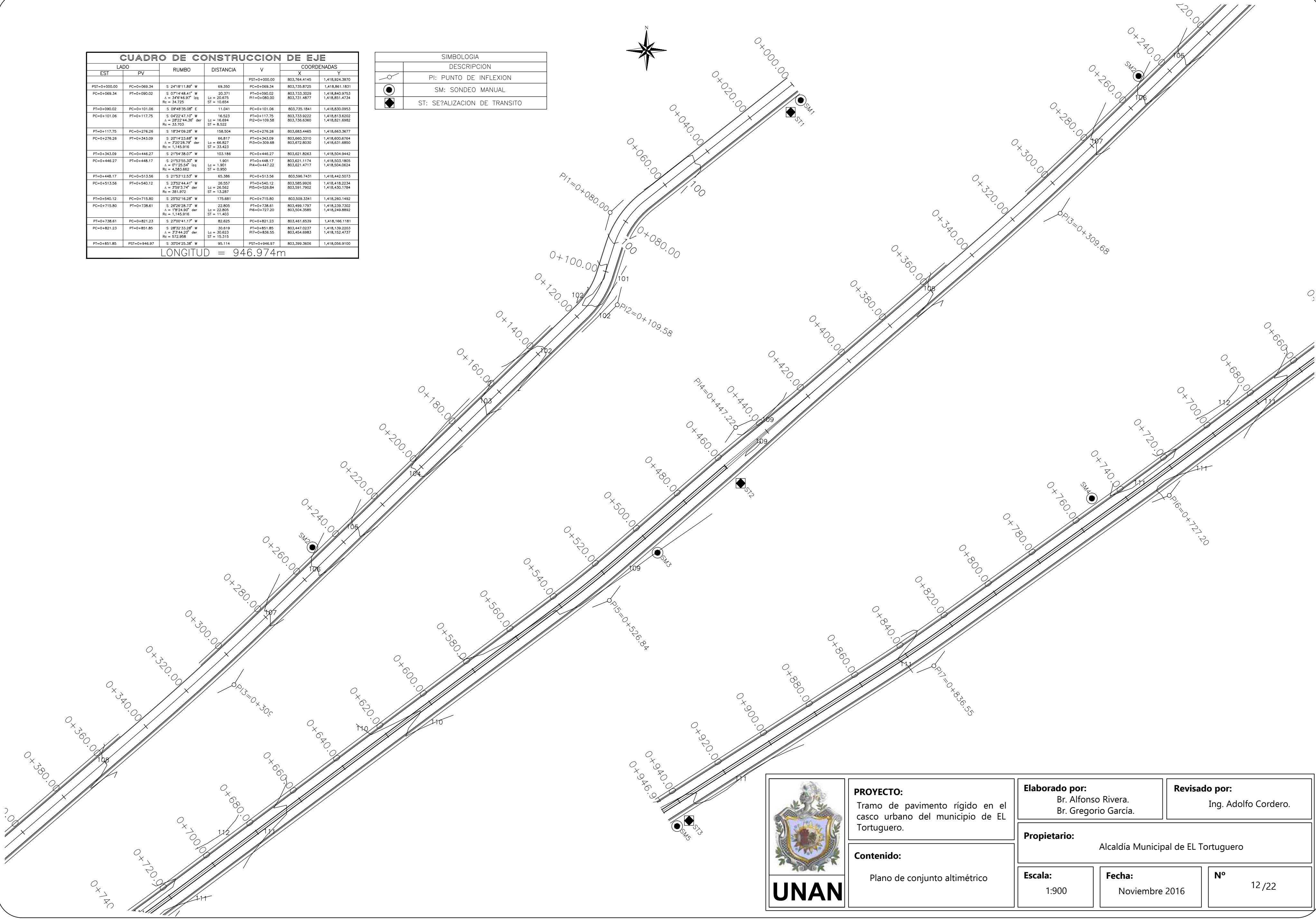
Fecha:
Noviembre 2016


Nº
12/22

CUADRO DE CONSTRUCCION DE EJE						
EST	LADO	PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS
						X Y
PST=0+000.00	PC=0+069.34		S 24°18'11.88" W	69.350	PC=0+069.34	803,756.8725 1,418,824.3870
PC=0+069.34	PT=0+090.02		S 07°14'48.41" W	20.371	PT=0+090.02	803,733.3029 1,418,840.9753
			$\Delta = 34°04'46.97"$ izq	Lc = 20.875	PI1=0+080.00	803,751.4877 1,418,851.4754
			Rc = 34.725	ST = 10.654		
PT=0+090.02	PC=0+101.06		S 08°48'35.08" E	11.041	PC=0+101.06	803,735.1841 1,418,830.0953
PC=0+101.06	PT=0+117.75		S 04°22'47.10" W	16.523	PT=0+117.75	803,733.9322 1,418,813.6202
			$\Delta = 28°22'44.30"$ der	Lc = 16.684	PI2=0+109.58	803,756.5360 1,418,851.5982
			Rc = 33.703	ST = 8.522		
PT=0+117.75	PC=0+276.26		S 18°34'09.28" W	158.504	PC=0+276.26	803,683.4465 1,418,663.3677
PC=0+276.26	PT=0+343.09		S 20°14'23.68" W	66.817	PT=0+343.09	803,660.3310 1,418,600.6764
			$\Delta = 32°02'28.79"$ der	Lc = 66.827	PI3=0+309.68	803,612.8035 1,418,651.6850
			Rc = 1,145.916	ST = 33.423		
PT=0+343.09	PC=0+446.27		S 21°54'38.07" W	103.186	PC=0+446.27	803,621.8263 1,418,504.9442
PC=0+446.27	PT=0+448.17		S 21°53'55.30" W	1.901	PT=0+448.17	803,621.1174 1,418,503.1805
			$\Delta = 01°25.54"$ izq	Lc = 1.901	PI4=0+447.22	803,621.4717 1,418,504.0624
			Rc = 4,583.662	ST = 0.950		
PT=0+448.17	PC=0+513.56		S 21°53'12.53" W	65.388	PC=0+513.56	803,596.7431 1,418,442.5073
PC=0+513.56	PT=0+540.12		S 27°52'44.41" W	26.557	PT=0+540.12	803,585.9926 1,418,418.2334
			$\Delta = 3°59'3.74"$ der	Lc = 26.562	PI5=0+526.84	803,591.7902 1,418,430.1784
			Rc = 391.972	ST = 13.297		
PT=0+540.12	PC=0+715.80		S 22°52'16.28" W	175.681	PC=0+715.80	803,509.3341 1,418,260.1492
PC=0+715.80	PT=0+738.61		S 28°26'28.73" W	22.805	PT=0+738.61	803,499.1797 1,418,239.7302
			$\Delta = 1°02'4.90"$ der	Lc = 22.805	PI6=0+727.20	803,504.3585 1,418,249.8892
			Rc = 1,145.916	ST = 11.403		
PT=0+738.61	PC=0+821.23		S 27°00'41.17" W	82.625	PC=0+821.23	803,461.6539 1,418,166.1181
PC=0+821.23	PT=0+851.85		S 28°32'33.28" W	30.619	PT=0+851.85	803,447.0237 1,418,139.2203
			$\Delta = 3°34.20"$ der	Lc = 30.623	PI7=0+836.55	803,454.6983 1,418,152.4737
			Rc = 572.808	ST = 15.315		
PT=0+851.85	PST=0+946.97		S 30°04'25.38" W	95.114	PST=0+946.97	803,399.3606 1,418,056.9100

LONGITUD = 946.974m

SIMBOLOGIA	
	DESCRIPCION
	PI: PUNTO DE INFLEXION
	SM: SONDEO MANUAL
	ST: SE?ALIZACION DE TRANSITO





PROYECTO:
Tramo de pavimento rígido en el casco urbano del municipio de EL Tortuguero.

Contenido:
Plano de conjunto altimétrico

Elaborado por:
Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Propietario:
Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

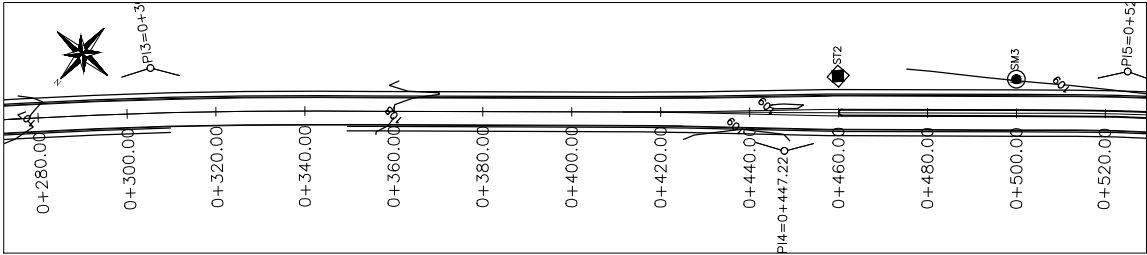
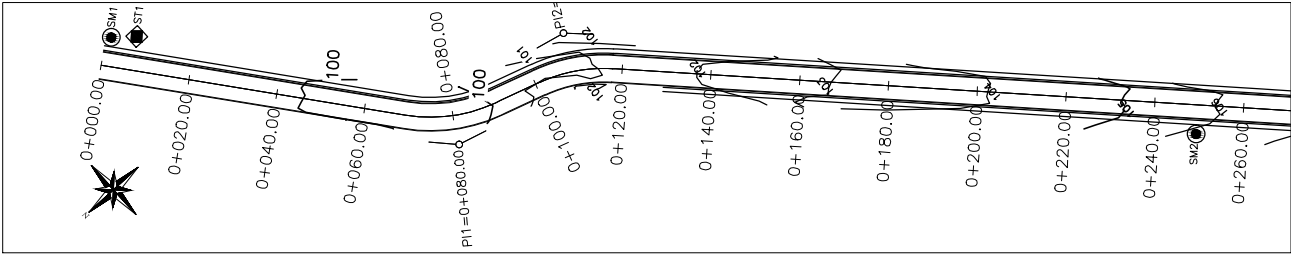
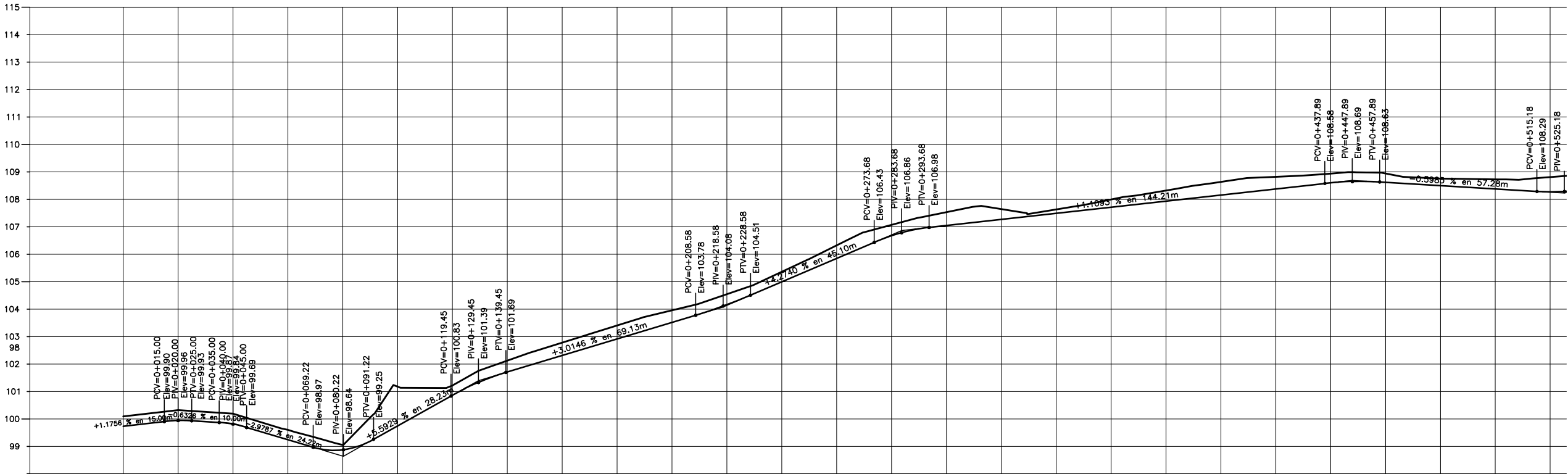
Escala:
1:900

Revisado por:
Ing. Adolfo Cordero.

Fecha:
Noviembre 2016

Nº
12/22

ELEVACION		ESPESOR		VOLUMEN	
TERRENO	SUBRASANTE	CORTE	TERRAPLEN	CORTE	TERRAPLEN
0+000.00	100.09	99.73	0.36	0.00	0.00
0+020.00	100.32	99.94	0.38	96.67	1.16
0+040.00	100.19	99.81	0.39	97.58	1.41
0+060.00	99.60	99.24	0.36	100.77	1.91
0+080.00	99.05	98.87	0.18	35.49	2.30
0+100.00	101.17	99.74	1.43	108.43	0.00
0+120.00	101.22	100.86	0.35	10.60	0.00
0+140.00	102.12	101.71	0.41	123.78	11.52
0+160.00	102.78	102.31	0.47	108.21	16.01
0+180.00	103.41	102.92	0.49	124.68	4.49
0+200.00	103.95	103.52	0.44	120.89	0.05
0+220.00	104.54	104.16	0.38	103.99	1.54
0+240.00	105.36	104.99	0.37	96.78	2.92
0+260.00	106.32	105.85	0.47	105.79	1.55
0+280.00	107.07	106.67	0.40	5.68	0.71
0+300.00	107.53	107.05	0.49	94.50	9.96
0+320.00	107.64	107.27	0.37	106.30	9.17
0+340.00	107.63	107.49	0.14	6.17	1.56
0+360.00	108.00	107.71	0.28	18.62	1.89
0+380.00	108.32	107.94	0.38	91.09	8.56
0+400.00	108.63	108.16	0.48	104.90	5.61
0+420.00	108.82	108.38	0.44	111.80	3.59
0+440.00	108.94	108.60	0.34	114.73	6.17
0+460.00	108.94	108.62	0.32	56.66	6.87
0+480.00	108.76	108.50	0.26	98.83	17.62
0+500.00	108.73	108.38	0.35	104.16	17.39
0+520.00	108.81	108.27	0.54	8.78	0.88



UNAN

PROYECTO:

Tramo de Pavimento Rígido en el casco urbano del municipio de EL Tortuguero.

Contenido:

Planta-Perfil
Est 0+000 - Est 0+520

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

Horizontal 1:1700
Vertical 1:170

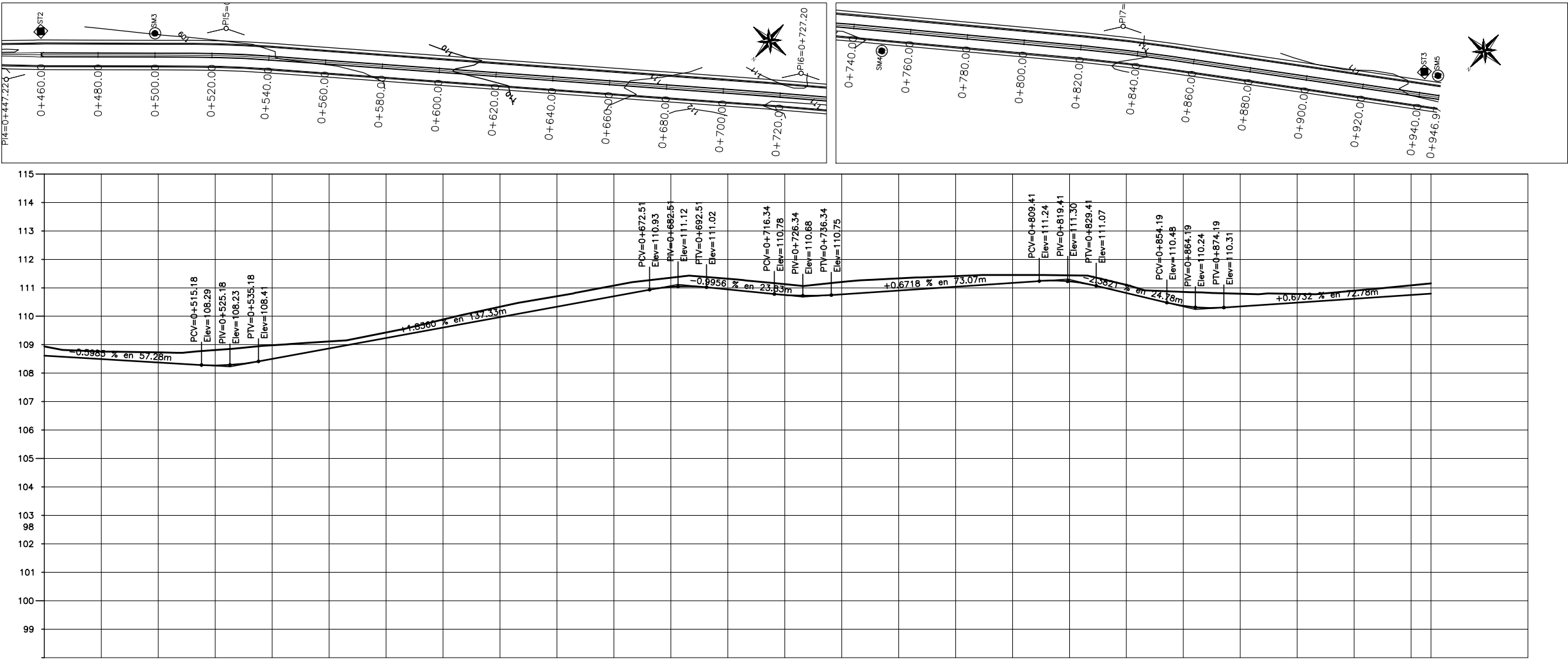
Fecha:

Noviembre 2016

Nº

13/22

ELEVACION		ESPESOR	VOLUMEN
TERRENO	SUBRASANTE		
0+460.00	108.94	108.62	0.32
0+480.00	108.76	108.50	0.26
0+500.00	108.73	108.38	0.35
0+520.00	108.81	108.27	0.54
0+540.00	108.98	108.50	0.48
0+560.00	109.11	108.87	0.25
0+580.00	109.43	109.23	0.20
0+600.00	109.88	109.60	0.28
0+620.00	110.33	109.97	0.37
0+640.00	110.71	110.33	0.37
0+660.00	111.08	110.70	0.37
0+680.00	111.35	111.03	0.32
0+700.00	111.32	110.94	0.37
0+720.00	111.13	110.75	0.38
0+740.00	111.20	110.77	0.43
0+760.00	111.33	110.91	0.43
0+780.00	111.41	111.04	0.37
0+800.00	111.45	111.17	0.28
0+820.00	111.44	111.22	0.22
0+840.00	111.10	110.81	0.29
0+860.00	110.86	110.36	0.49
0+880.00	110.79	110.34	0.45
0+900.00	110.78	110.48	0.31
0+920.00	110.90	110.61	0.29
0+940.00	111.09	110.75	0.34
0+946.97	111.15	110.79	0.36



UNAN

PROYECTO:

Tramo de Pavimento Rígido en el casco urbano del municipio de EL Tortuguero.

Contenido:

Planta-Perfil
Est 0+460 - Est 0+946.97

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

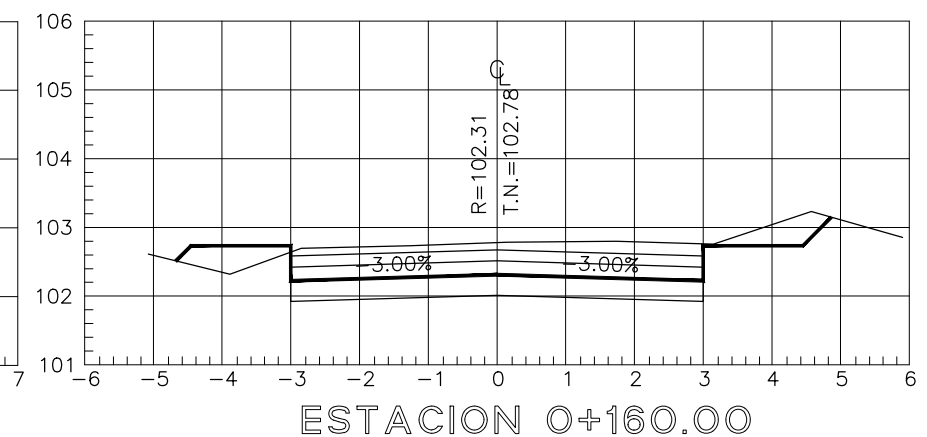
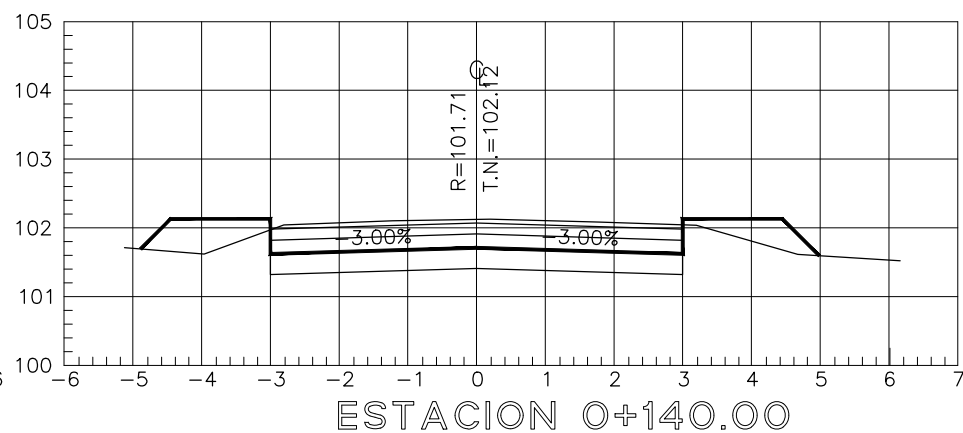
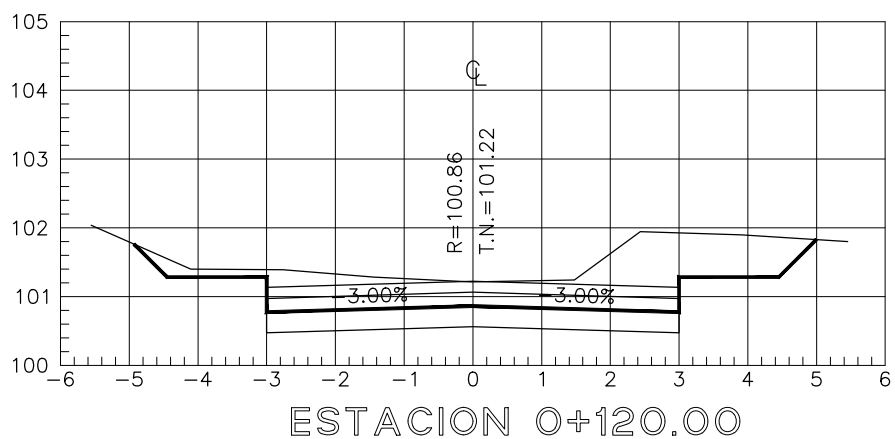
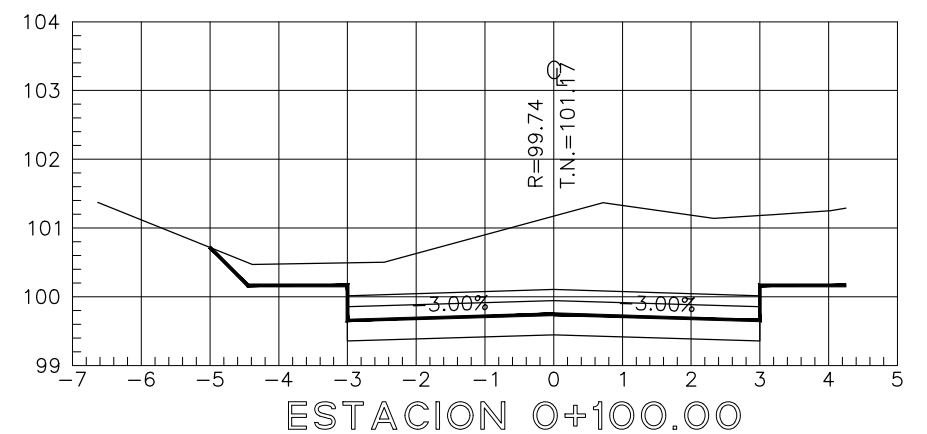
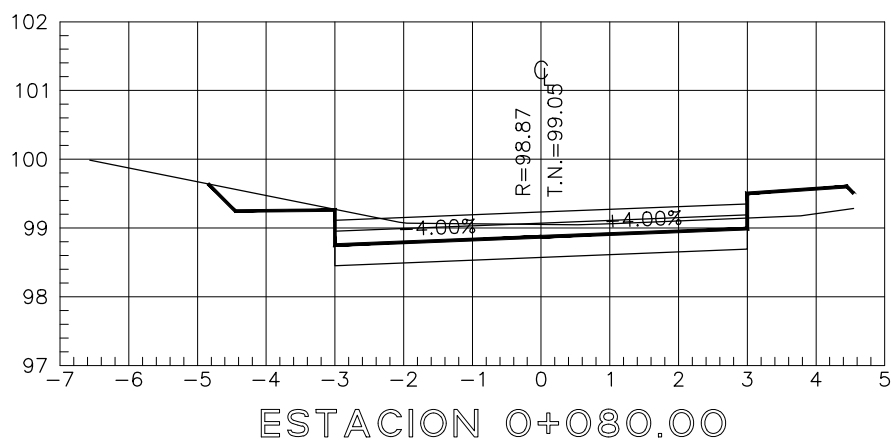
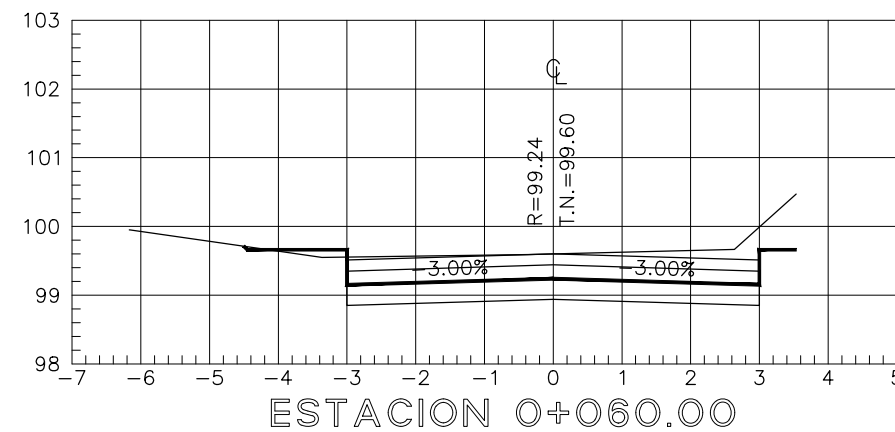
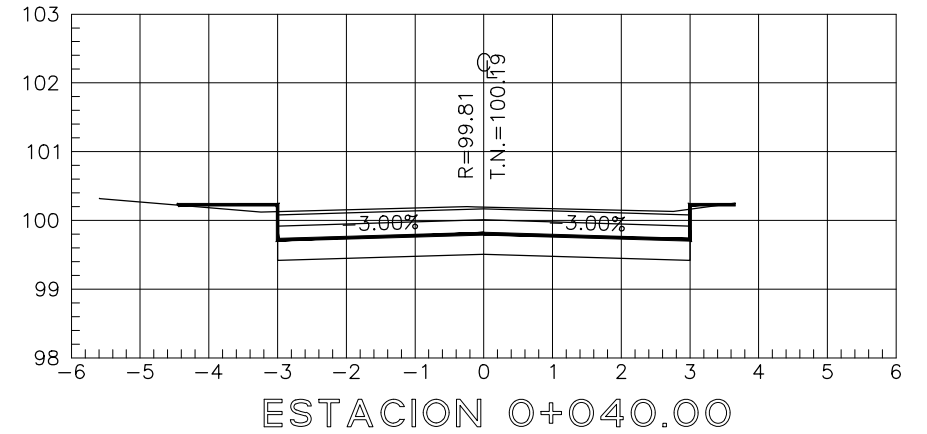
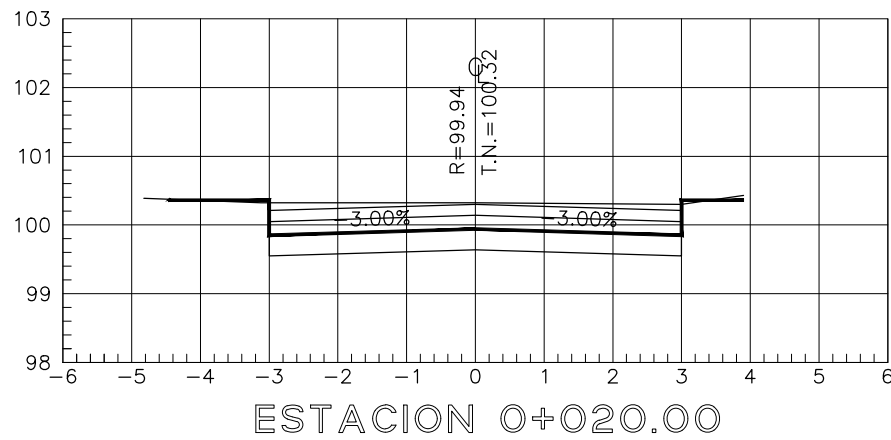
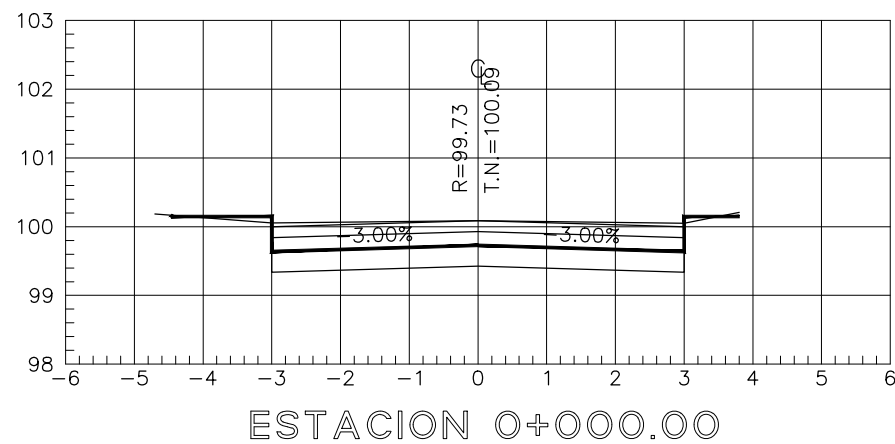
Horizontal 1:1700
Vertical 1:170

Fecha:

Noviembre 2016

Nº

14/22



UNAN

PROYECTO:

Tramo de Pavimento Rígido en el casco urbano del municipio de EL Tortuguero.

Contenido:

Secciones transversales
Est. 0+000.00 - Est. 0+160.00

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

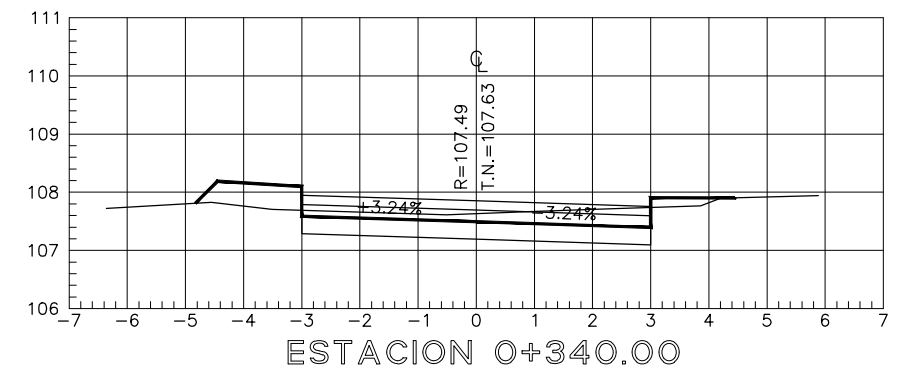
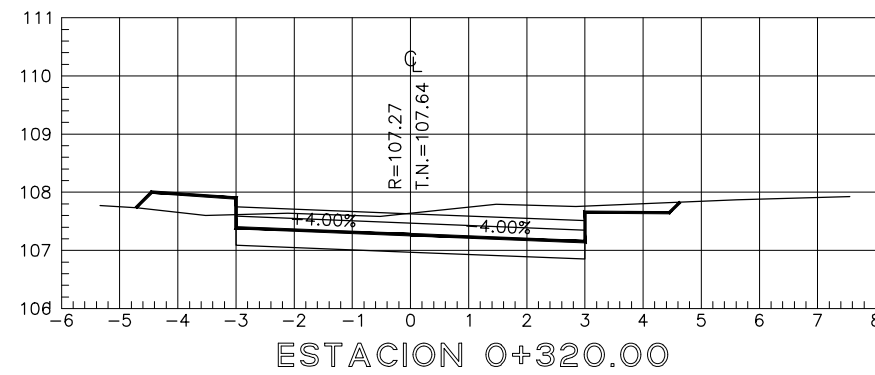
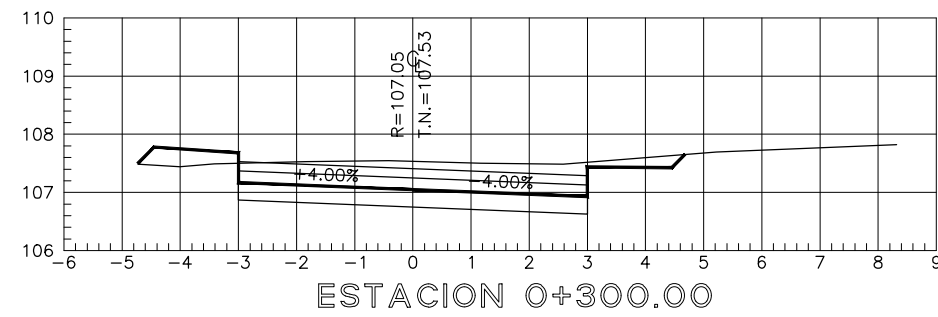
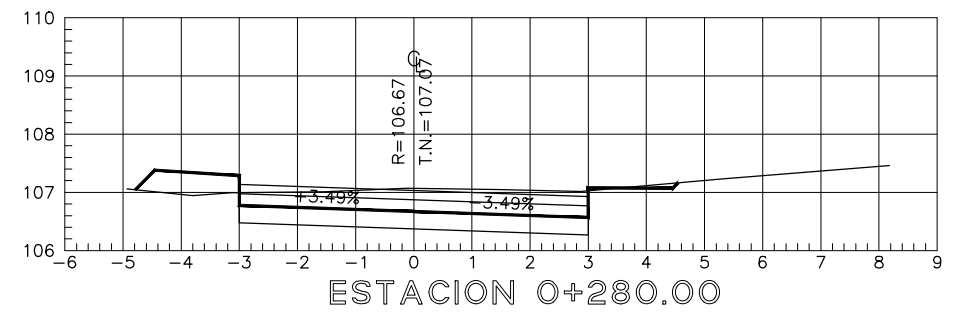
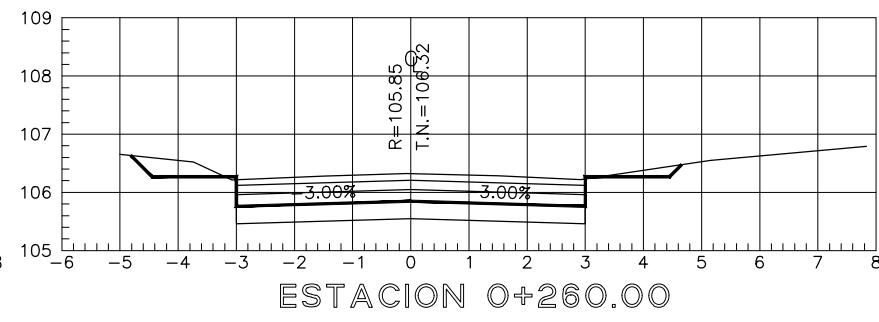
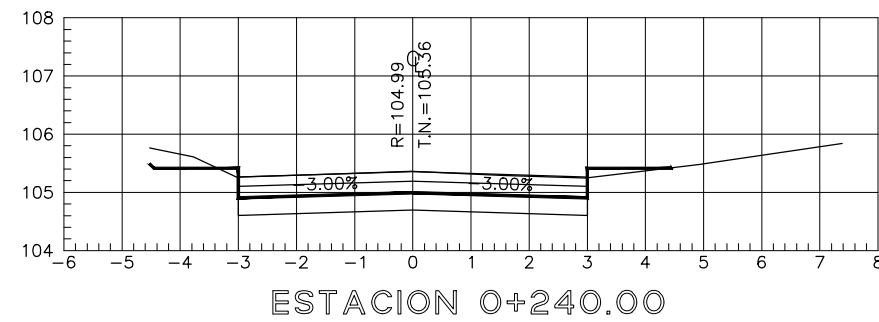
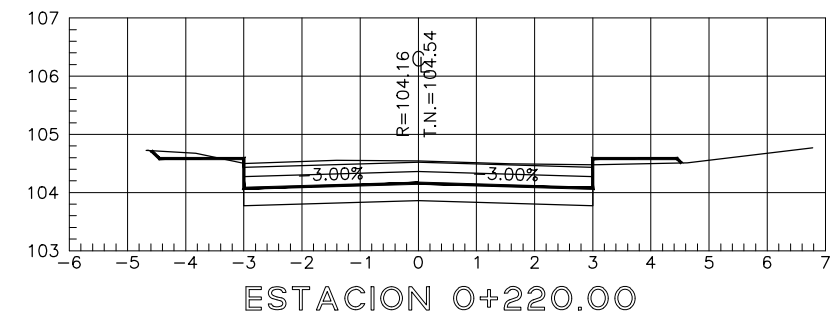
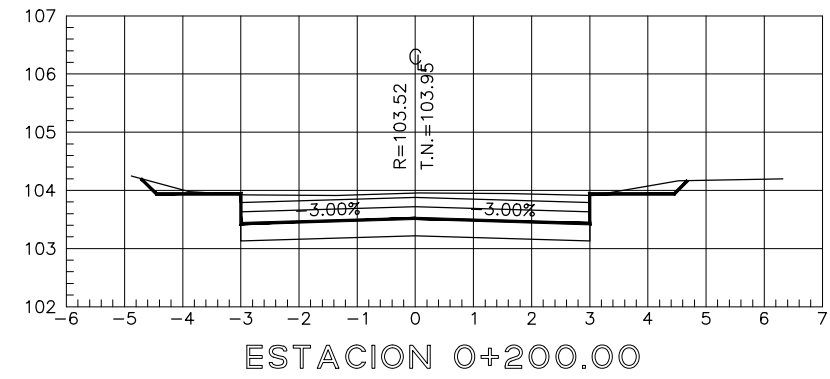
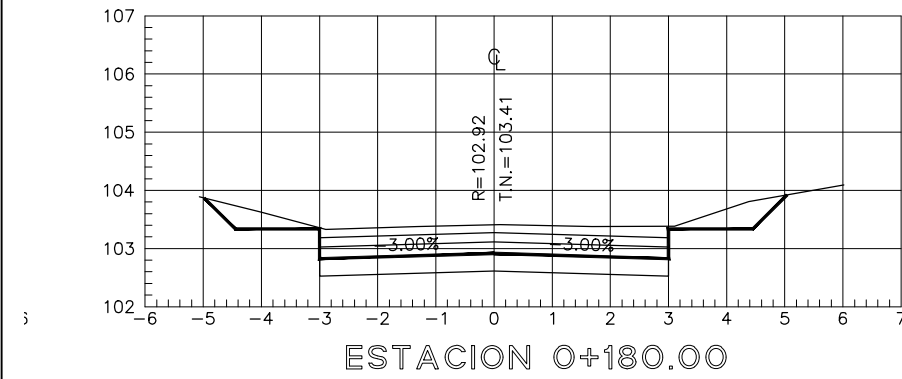
1:110

Fecha:

Noviembre 2016

Nº

15 /22



UNAN

PROYECTO:

Tramo de Pavimento Rígido en el casco urbano del municipio de EL Tortuguero.

Contenido:

Secciones transversales
Est. 0+180.00 - Est. 0+340.00

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

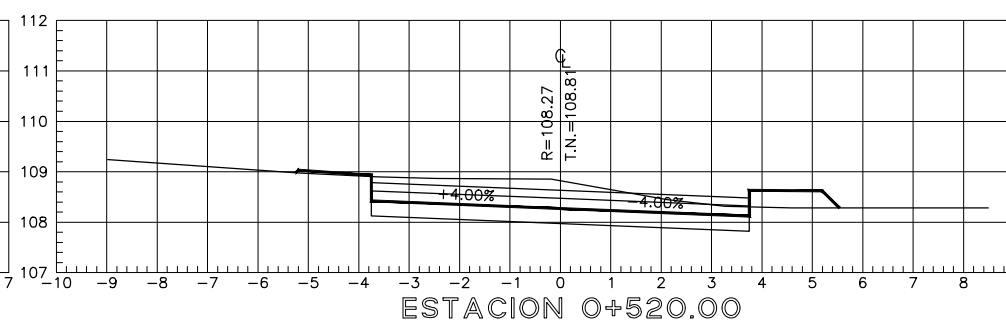
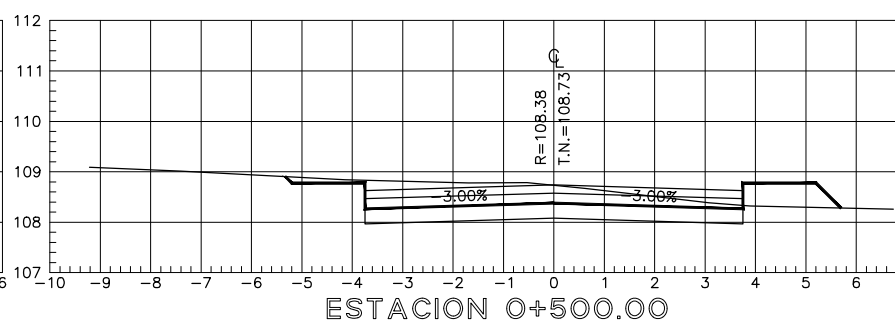
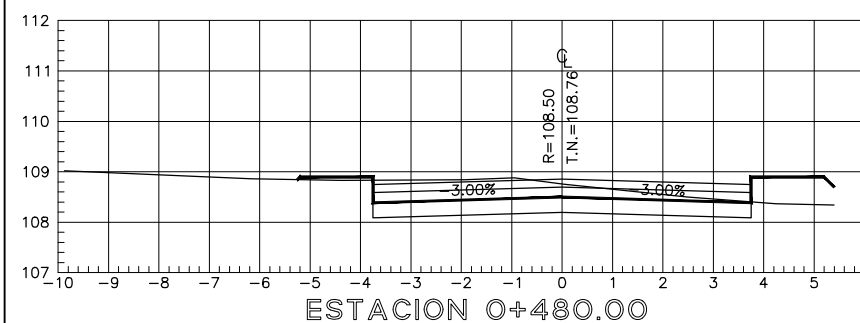
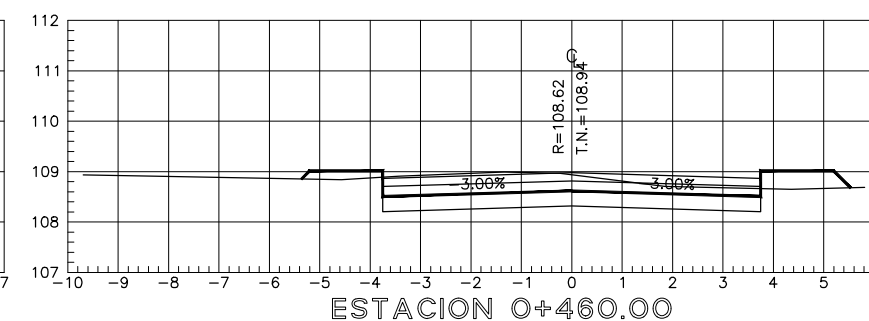
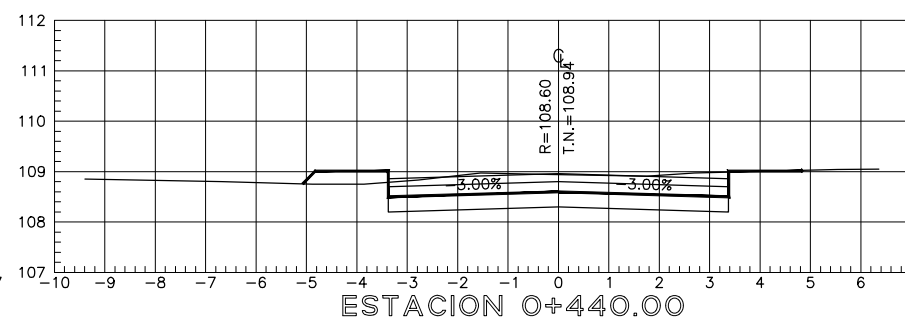
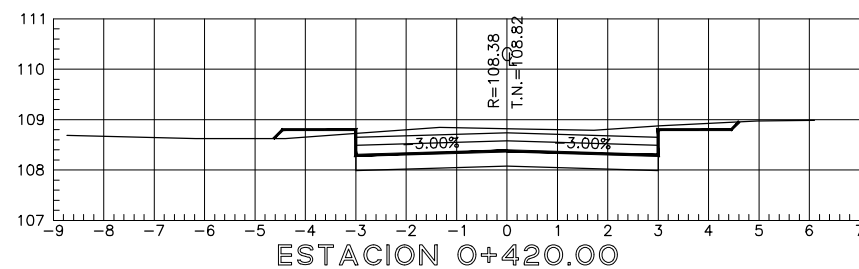
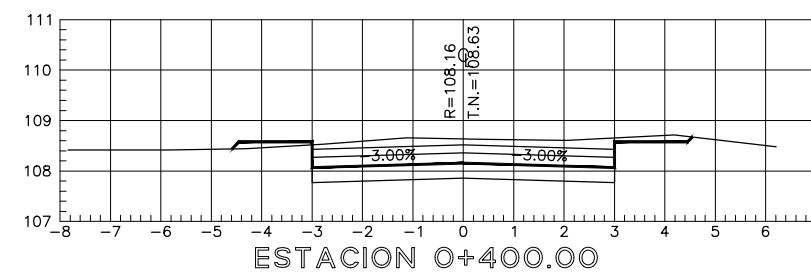
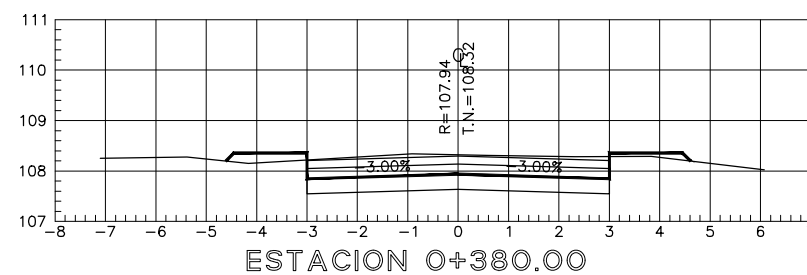
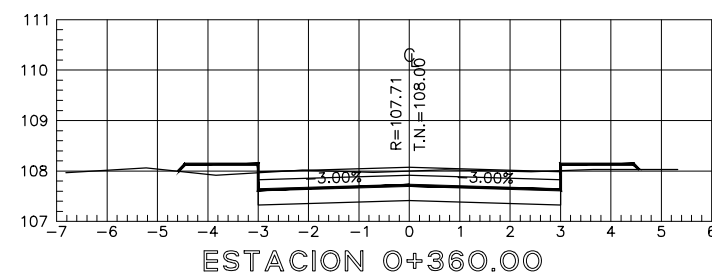
1:130

Fecha:

Noviembre 2016

Nº

16 / 22



UNAN

PROYECTO:

Tramo de Pavimento Rígido en el casco urbano del municipio de EL Tortuguero.

Contenido:

Secciones transversales
Est. 0+360.00 - Est. 0+520.00

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

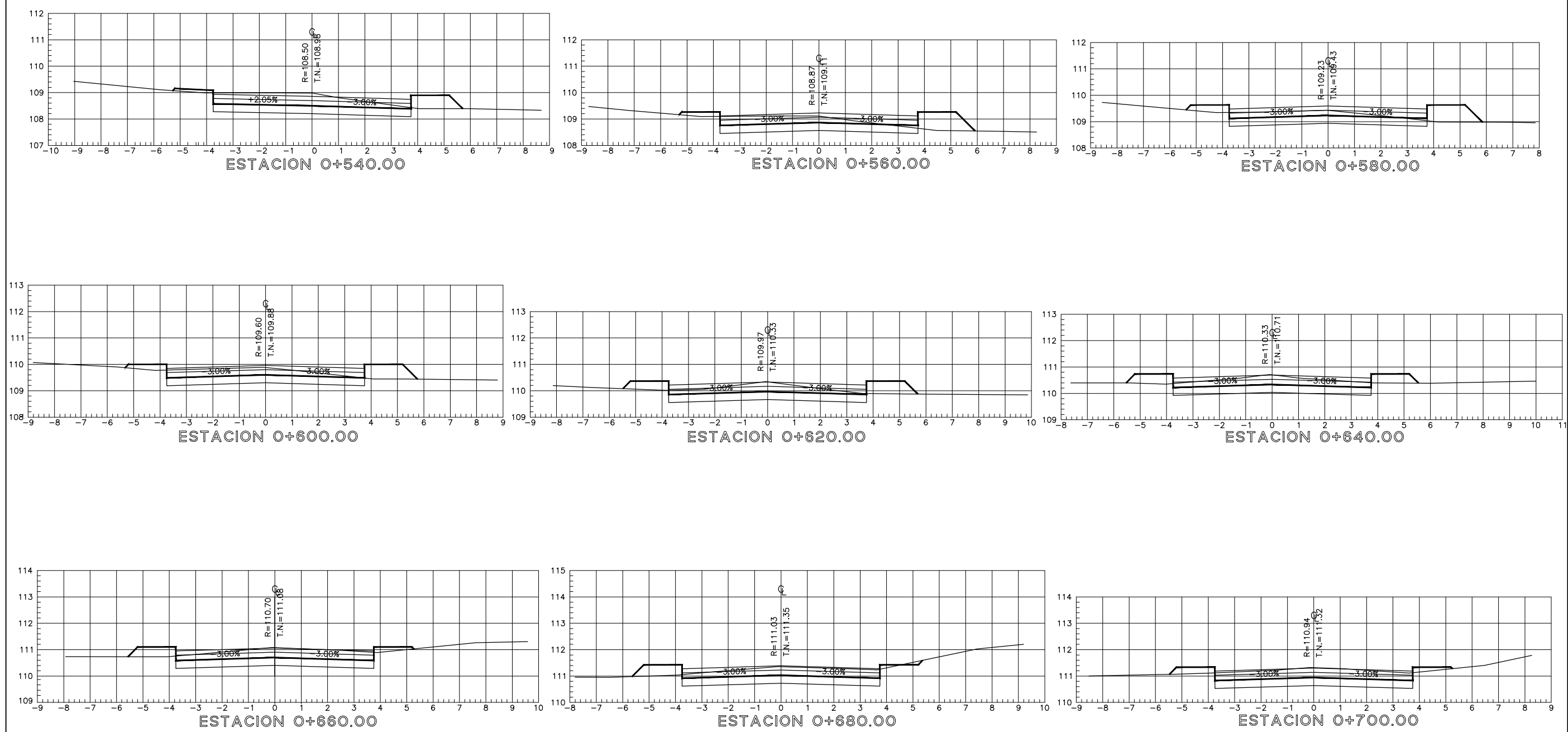
1:150

Fecha:

Noviembre 2016

Nº

17 /22



UNAN

PROYECTO:
Tramo de Pavimento Rígido en el casco urbano del municipio de EL Tortuguero.

Contenido:
Secciones transversales
Est. 0+540.00 - Est. 0+700.00

Elaborado por:
Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

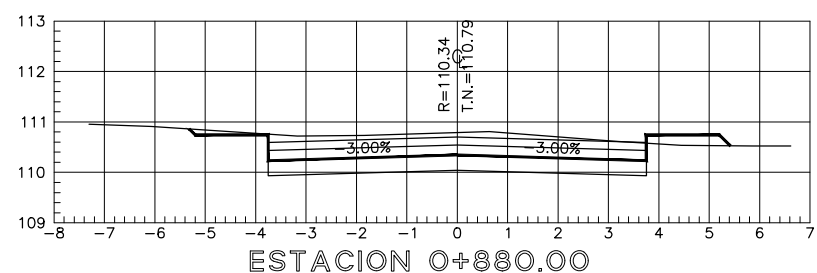
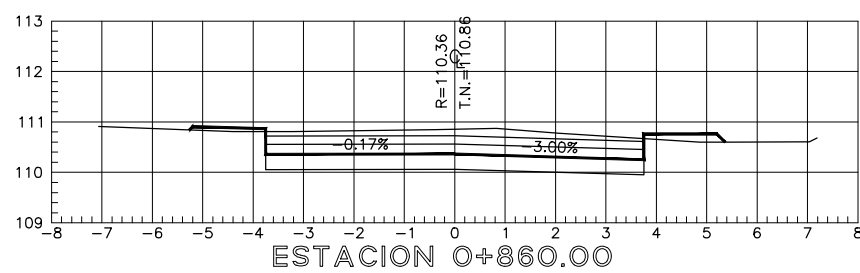
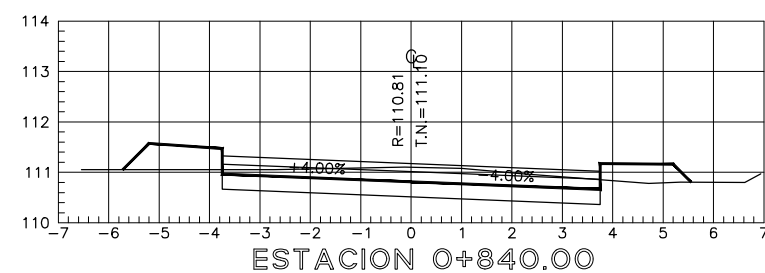
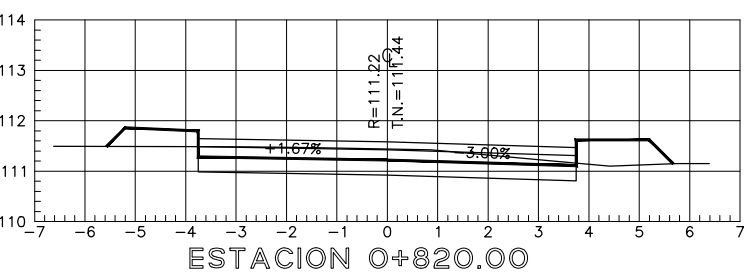
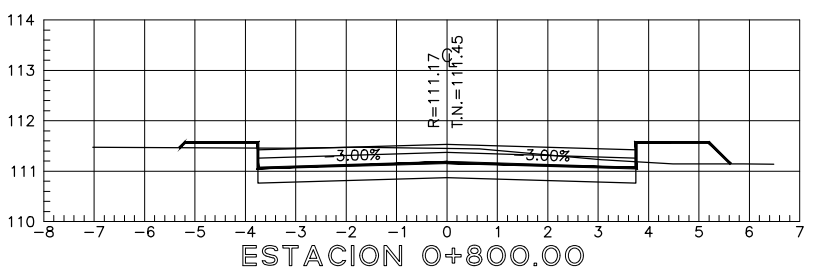
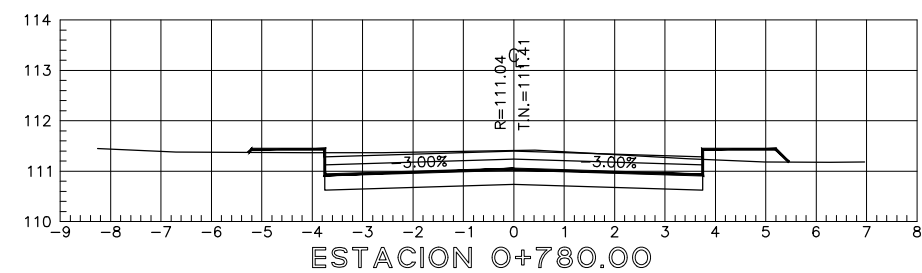
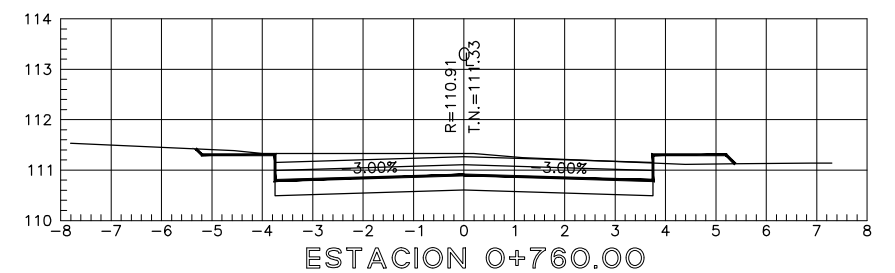
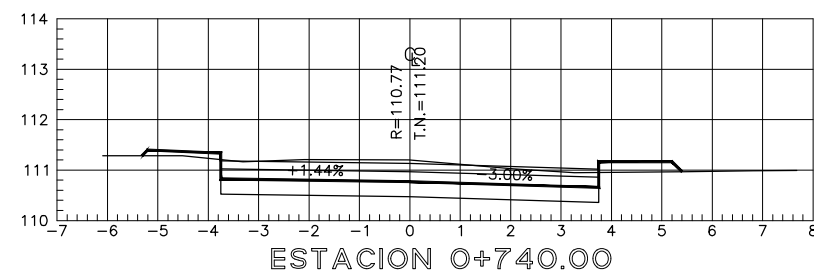
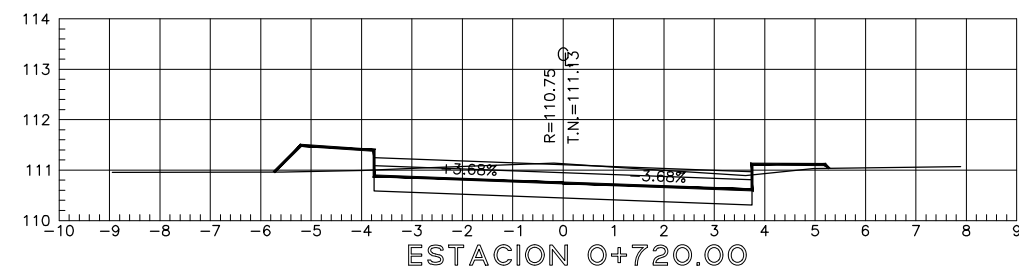
Revisado por:
Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:
Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:
1:160

Fecha:
Noviembre 2016

Nº
18 /22



UNAN

PROYECTO:

Tramo de Pavimento Rígido en el casco urbano del municipio de EL Tortuguero.

Contenido:

Secciones transversales
Est. 0+720.00 - Est. 0+880.00

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

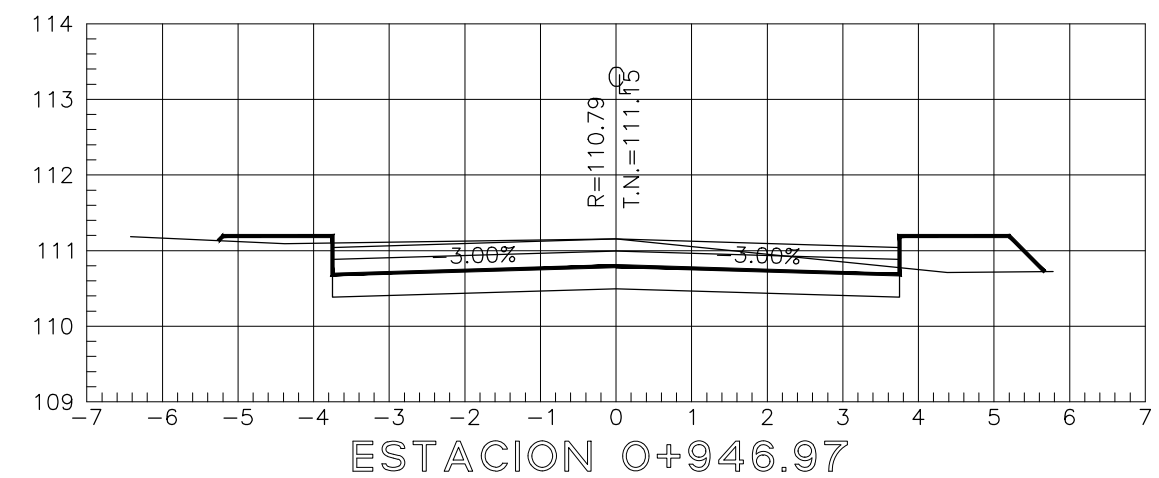
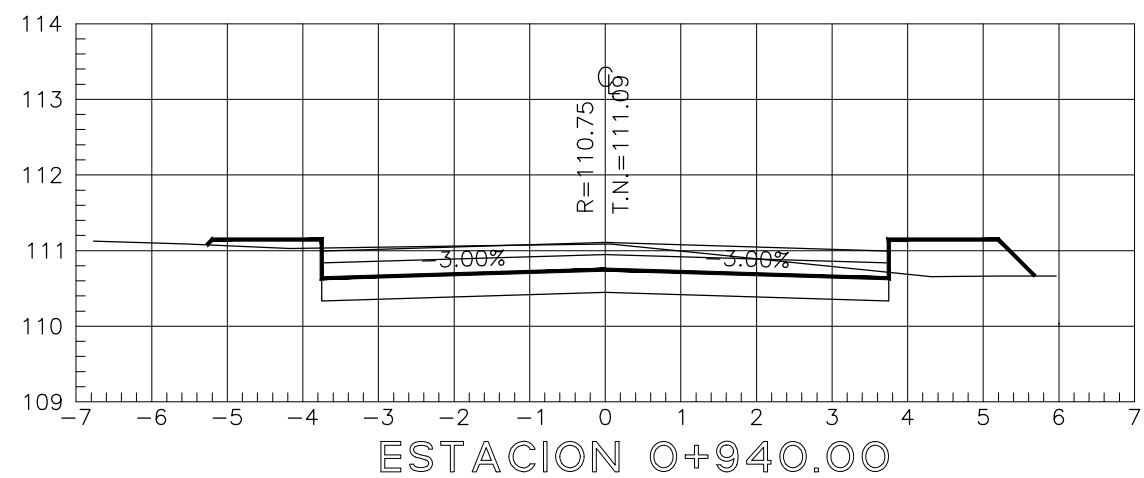
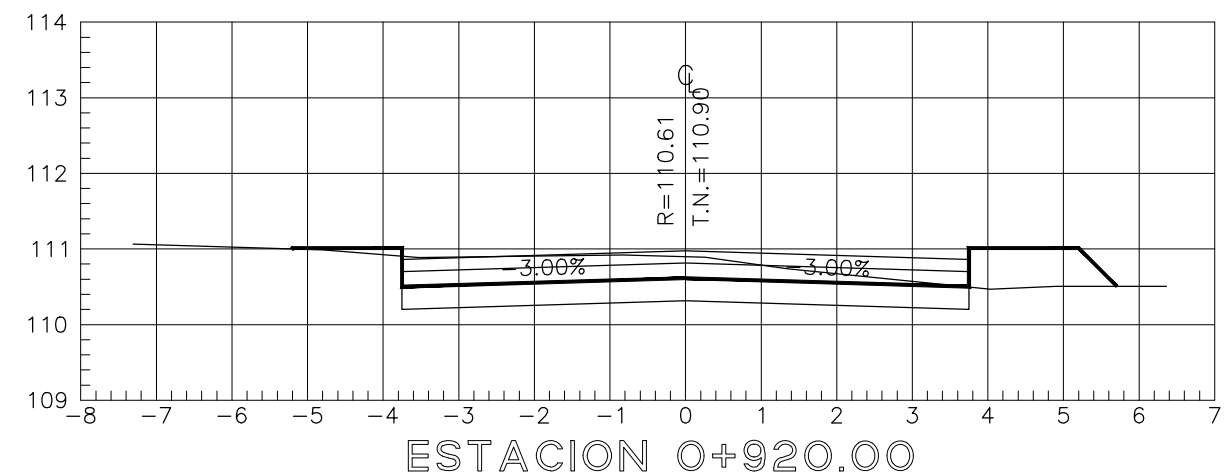
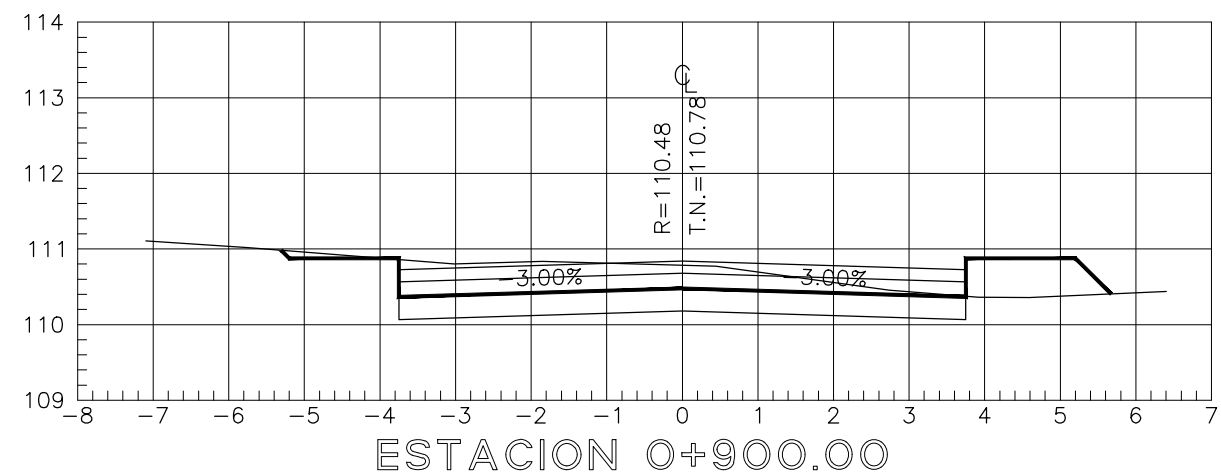
1:150

Fecha:

Noviembre 2016

Nº

19 /22



UNAN

PROYECTO:

Tramo de Pavimento Rígido en el casco urbano del municipio de EL Tortuguero.

Contenido:

Secciones transversales
Est. 0+900.00 - Est. 0+946.97

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

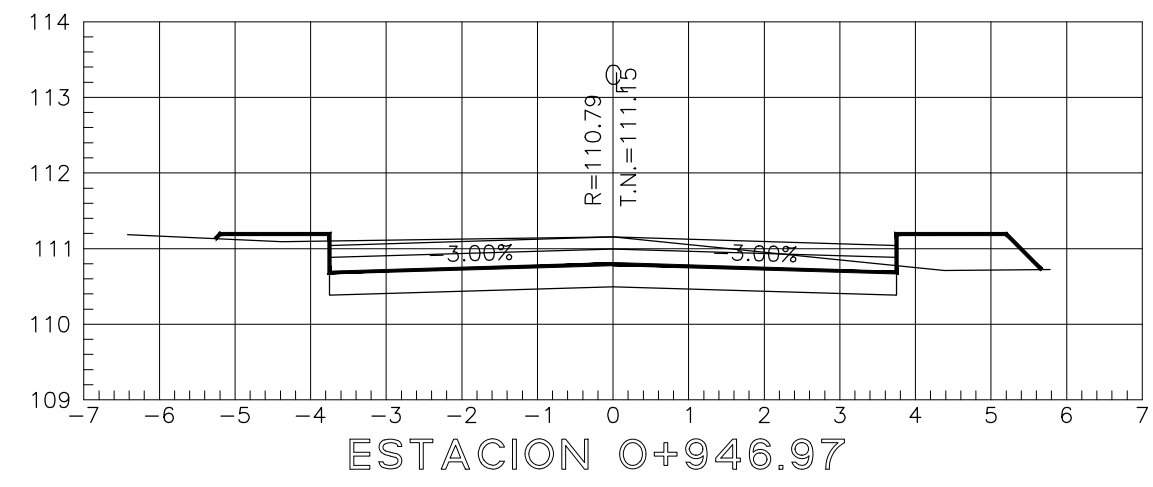
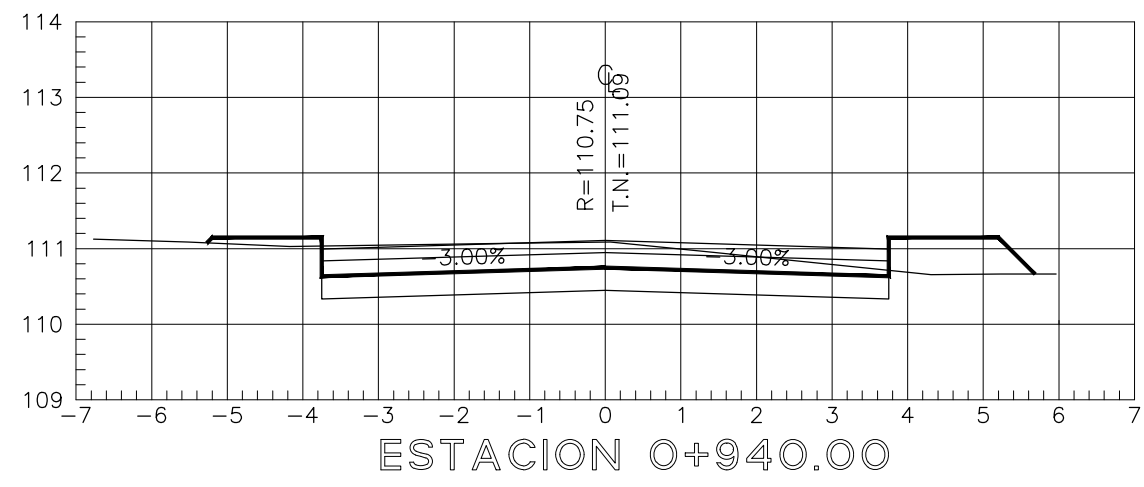
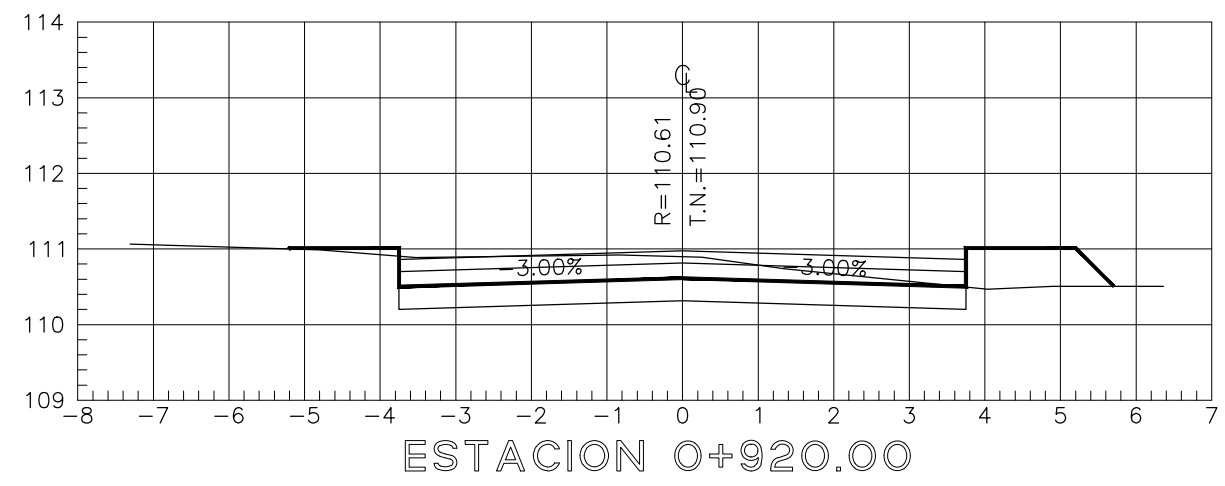
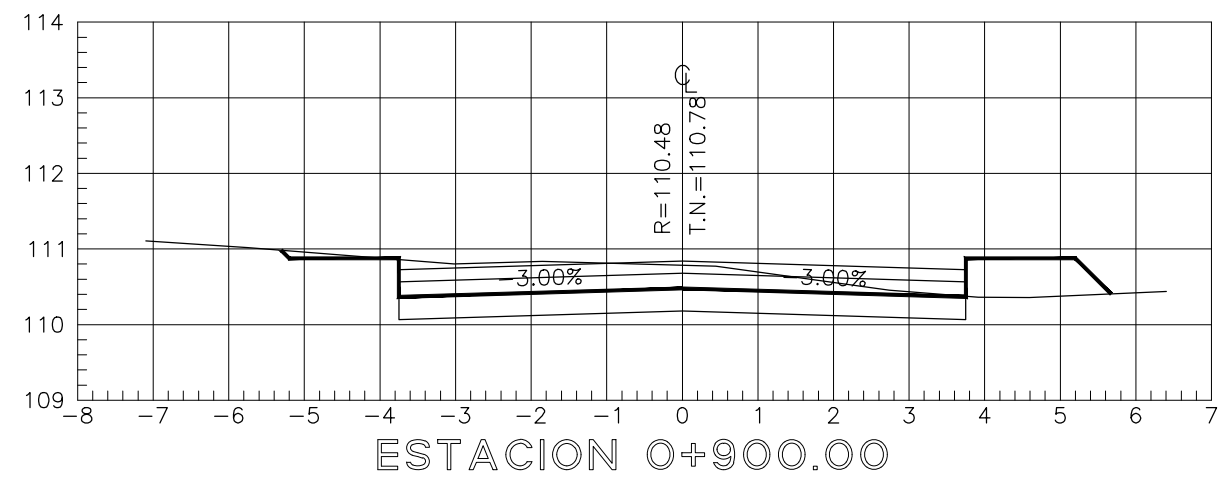
1:100

Fecha:

Noviembre 2016

Nº

20/22



UNAN

PROYECTO:
Tramo de Pavimento Rígido en el casco urbano del municipio de EL Tortuguero.

Contenido:
Secciones transversales
Est. 0+900.00 - Est. 0+946.97

Elaborado por:
Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

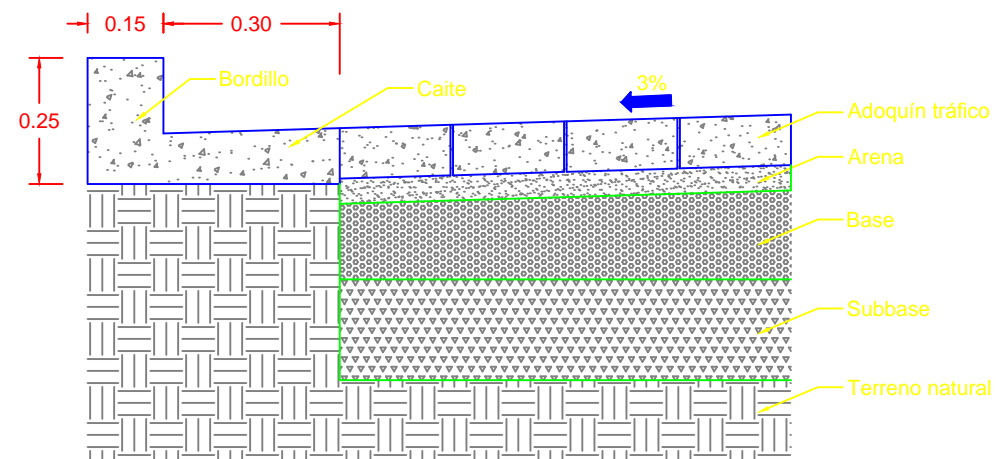
Revisado por:
Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:
Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

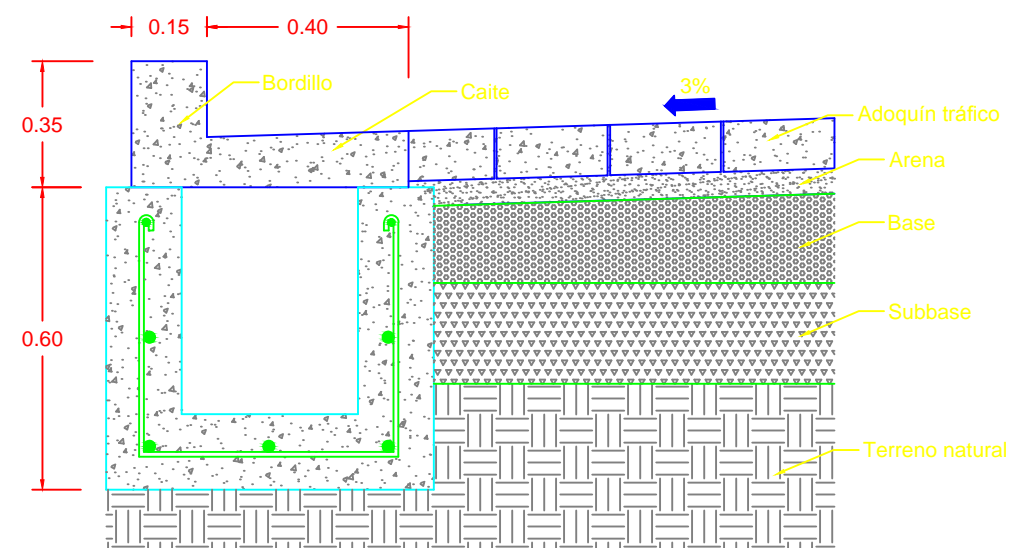
Escala:
1:100

Fecha:
Noviembre 2016

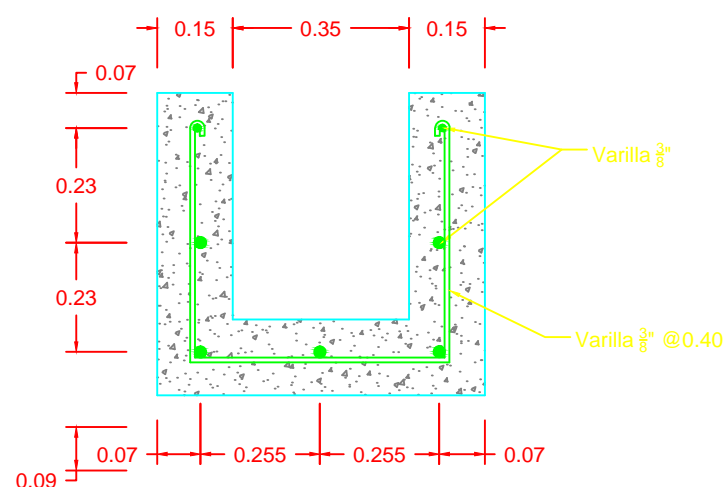
Nº
20/22



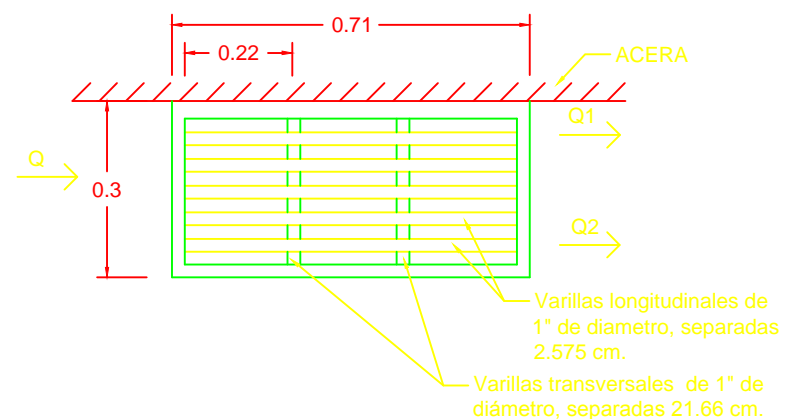
SECCIÓN DE CUNETA
Escala 1:15



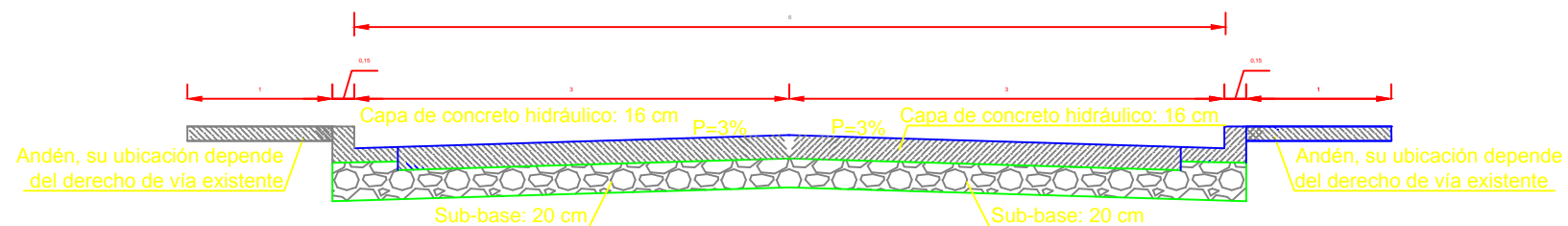
SECCIÓN DE CUNETA Y CANAL
Escala 1:15



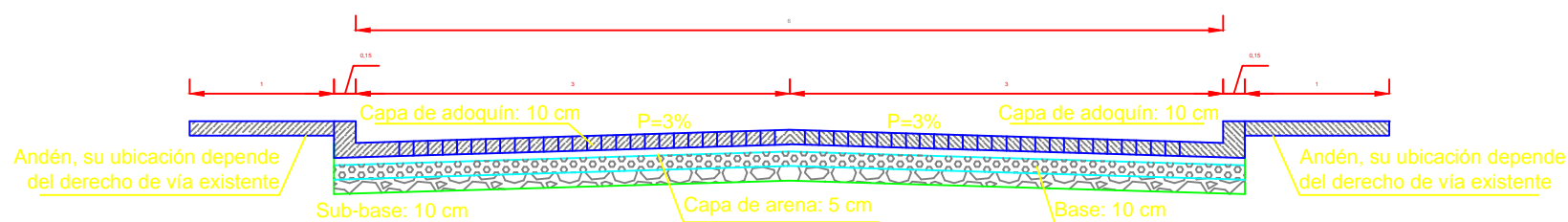
SECCIÓN DE CANAL
Escala 1:15



VISTA PLANTA DE TRAGANTE
Escala 1:15



SECCIÓN TÍPICA DE LA CALLE DE CONCRETO HIDRÁULICO
Escala 1:50



SECCIÓN TÍPICA DE LA CALLE ADOQUINADA
Escala 1:50



UNAN

PROYECTO:

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio EL Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S)-Nicaragua.

Contenido:

Detalles constructivos

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

Indicada

Fecha:

Noviembre 2016

Nº

21/22



SEÑAL TIPO P-1-4



SEÑAL TIPO P-2-3



SEÑAL TIPO P-4-5



SEÑAL TIPO R-1-1



SEÑAL TIPO R-3-11a



UNAN

PROYECTO:

Diseño de un tramo vial de 1.73 km en el casco urbano del municipio EL Tortuguero, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (R.A.C.C.S)-Nicaragua.

Contenido:

Tipo de Señalización Vertical usada en el Proyecto Vial.

Elaborado por:

Br. Alfonso Rivera.
Br. Gregorio García.

Revisado por:

Ing. Adolfo Cordero.

Propietario:

Alcaldía Municipal de EL Tortuguero

Escala:

Sin Escala

Fecha:

Noviembre 2016

Nº

22/22